

TA/TL/2021/1275

TUGAS AKHIR

UNJUK KERJA REAKTOR *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB) DENGAN PENAMBAHAN MEDIA PENYANGGA SPONS POLIURETAN UNTUK PENYISIHAN PADATAN TERSUSPENSISI (TSS) DAN PADATAN TERLARUT (TDS) PADA AIR LIMBAH *GREYWATER*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**MUHAMMAD TAUFIQ
16513033**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

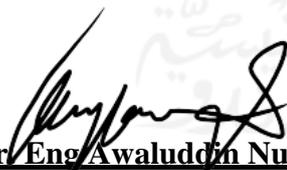
TUGAS AKHIR
UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB)
DENGAN MEDIA PENYANGGA SPONS
POLIURETAN UNTUK PENYISIHAN TSS DAN TDS
PADA AIR LIMBAH *GREYWATER*

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



MUHAMMAD TAUFIQ
16513033

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto,
S.T.,M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal:


Dr. Joni Aldilla Fajri S.T.,M.Eng.
NIK. 1651306
Tanggal:

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Eko Siswovo, S.T.,M.Sc.ES.,Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 25 Februari 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB)
DENGAN MEDIA PENYANGGA SPONS
POLIURETAN UNTUK PENYISIHAN TSS DAN TDS
PADA AIR LIMBAH *GREYWATER***

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 25 Februari 2021

Disusun Oleh:

MUHAMMAD TAUFIQ
16513033

Tim Penguji :

Penguji 1 Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto, S.T., M.Eng



Penguji 2 Dr. Joni Aldilla Fairi, S.T., M.Eng



Penguji 3 Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Desember 2020

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Taufiq

NIM: 16513033

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala, atas berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Judul yang dibahas dalam penelitian yang dilakukan terhitung mulai dari Juni 2020 ini adalah **Unjuk Kerja Reaktor *Ecological Floating Bed* Dengan Penambahan Media Penyangga Spons Poliuretan Untuk Penyisihan TSS dan TDS pada Air Limbah *Greywater*.**

Laporan tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan, bimbingan, dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang berkat anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, nasehat serta doa mulai dari penelitian sampai penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T.,M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan mulai dari penelitian sampai penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Dr. Joni Aldilla Fajri S.T.,M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan arahan mulai dari penelitian sampai penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang juga telah banyak memberikan masukan yang membangun terhadap pengerjaan tugas akhir ini.
6. Sahabat dan teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Lingkungan yang selalu memberikan dukungan selama penelitian sampai penulisan tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu sampai pada saat ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar laporan ini menjadi lebih baik. Semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembacanya dan dapat dijadikan sebagai refensi penelitian berikutnya.

Yogyakarta, 15 Januari 2021



Muhammad Taufiq



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Muhammad Taufiq. Unjuk Kerja Reaktor *Ecological Floating Bed* Dengan Penambahan Media Penyangga Spons Poliuretan Untuk Penyisihan TSS dan TDS pada Air Limbah *Greywater*. Dibimbing oleh Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T.,M.Eng. dan Dr. Joni Aldilla Fajri S.T.,M.Eng.

Pencemaran pada badan air menjadi permasalahan serius seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan sistem manajemen lingkungan yang buruk. Hal ini dapat berefek buruk berupa gangguan kesehatan manusia serta keberlangsungan ekosistem air. Banyak pencemaran badan air disebabkan oleh pembuangan limbah domestik (*greywater*) langsung ke badan air. Salah satu tindakan pengolahan terhadap *greywater* ialah teknologi reaktor berupa *Ecological Floating Bed* (EFB). Pada dasarnya EFB memanfaatkan kemampuan fitoremediasi pada tanaman yang digunakan untuk mendegradasi polutan yang terdapat pada *greywater*. Dalam pengaplikasiannya dapat menggunakan berbagai tanaman air dan juga dapat menambahkan media pendukung demi mengoptimalkan penyisihan senyawa polutan. Pada penelitian ini digunakan tanaman Eceng Gondok dan spons poliuretan sebagai komponen utama reaktor EFB. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 reaktor berupa kontrol, EFB, dan EFB+Spons dan dilakukan dalam 2 fase dimana fase pertama selama 20 hari dan fase kedua 28 hari. Pembagian 2 fase berupa fase pertama (konsentrasi polutan rendah) dan fase kedua (konsentrasi polutan lebih tinggi) ditujukan untuk menguji kemampuan penyisihan polutan yang optimal. Parameter polutan yang diuji ialah TDS dan TSS yang merupakan senyawa pencemar yang akan mengganggu ekosistem air dengan menghambat prosesi fotosintesis. Pengujian TSS mengacu pada SNI 06-6989.3-2004 dan pengujian TDS menggunakan TDS Meter. Penelitian menghasilkan efisiensi penyisihan pada TSS fase pertama sebesar 24,45% (kontrol), 64,85% (EFB), dan 67,5% (EFB+Spons). Efisiensi penyisihan TSS pada fase kedua sebesar 20,59% (kontrol), 40,74% (EFB), dan 42,5% (EFB+Spons). Pada parameter TDS fase pertama penyisihan dilakukan sebesar 6,86% (kontrol), 9,70% (EFB), dan 9,87 (EFB+Spons). Pada fase kedua penyisihan TDS sebesar 2,93% (kontrol), 14,24% (EFB), dan 20,17% (EFB+Spons). Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa reaktor EFB mampu menyisihkan polutan TSS dan TDS pada *greywater* terlebih jika dilakukan penambahan media penyangga berupa spons poliuretan.

Kata kunci: Ecological Floating Bed, Lahan Basah Buatan, Modifikasi Reaktor EFB, TSS, TDS.

ABSTRACT

Muhammad Taufiq. Ecological Floating Bed Reactor Performance with Polyurethane Sponge Buffer Media for TSS and TDS Removal in Greywater Wastewater. Supervised by Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T.,M.Eng. and Dr. Joni Aldilla Fajri S.T.,M.Eng.

Pollution in water bodies is a serious problem along with the increasing population and poor environmental management system. This can have a negative effect in the form of human health problems and the sustainability of the water ecosystem. Much of the pollution of water bodies is caused by the discharge of domestic waste (greywater) directly into water bodies. One of the treatment measures for freshwater is a reactor technology in the form of the Ecological Floating Bed (EFB). EFB utilizes the phytoremediation ability of plants which is used to degrade pollutants found in greywater. In its application, it can use various aquatic plants and can also add supporting media to optimize the removal of pollutant compounds. In this study, water hyacinth and polyurethane sponges were used as the main components of the EFB reactor. The research was conducted using 3 reactors in the form of control, EFB, and EFB + Sponge and was carried out in 2 phases where the first phase was 20 days and the second was 28 days. The division of two phases in the form of the first phase (low pollutant concentration) and the second phase (higher pollutant concentration) is intended to test the optimal pollutant removal ability. The pollutant parameters tested were TDS and TSS, which are pollutant compounds that will disrupt the water ecosystem by inhibiting the photosynthetic process. TSS testing refers to SNI 06-6989. 3-2004 and TDS testing using the TDS Meter. The study resulted in the elimination efficiency of the TSS in the first phase of 24.45% (control), 64.85% (EFB), and 67.5% (EFB + Sponge). TSS removal efficiency in the second phase was 20.59% (control), 40.74% (EFB), and 42.5% (EFB + Sponge). In the first phase of the TDS parameter, the allowance was carried out at 6.86% (control), 9.70% (EFB), and 9.87 (EFB + Sponge). In the second phase, the TDS allowances were 2.93% (control), 14.24% (EFB), and 20.17% (EFB + Sponge). From the results of this study, it can be concluded that the EFB reactor can remove TSS and TDS pollutants in freshwater, especially if a buffer medium in the form of a polyurethane sponge is added.

Keywords: Artificial Wetlands, Ecological Floating Bed, Modified EFB Reactor, TSS, TDS.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Air Limbah (<i>Greywater</i>)	4
2.2 Padatan Tersuspensi (TSS).....	4
2.3 Padatan Terlarut (TDS)	5
2.4 Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetlands</i>).....	5
2.5 <i>Ecological Floating Bed</i> (EFB).....	8
2.6 Tanaman Air Penyisih Polutan.....	10
2.7 Media Penyangga Berupa Sponge.....	12
2.8 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Tahapan Penelitian	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Karakteristik Air Limbah	27
4.2 Operasional Reaktor	28

4.3 Analisis Hasil Pengujian	31
4.4 Hubungan Antara TSS dan TDS dengan Parameter Fisik Pendukung.....	35
4.5 Efisiensi Penyisihan	41
4.6 Efek Beban Pengolahan.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



الجامعة الإسلامية
الاستدلاء بالاندو

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Kelebihan dan kekurangan lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan.....	7
Tabel 2.	Kelebihan dan kekurangan lahan basah buatan aliran bebas permukaan.....	8
Tabel 3.	Penelitian terdahulu.....	14
Tabel 4.	Spesifikasi reaktor.....	20
Tabel 5.	Komposisi bahan pembuatan air limbah <i>greywater</i> sintetis.....	22
Tabel 6.	Komposisi bahan pembuatan air limbah sintetis tahap kedua.....	22
Tabel 7.	Tahapan operasional reaktor dan pengambilan sampel.....	24
Tabel 9.	Konsentrasi polutan pada air limbah yang digunakan.....	27
Tabel 10.	Kondisi parameter pendukung air limbah.....	28
Tabel 11.	Rencana awal durasi dan interval penelitian.....	30
Tabel 12.	Durasi dan interval penelitian setelah perombakan.....	30
Tabel 13.	Hasil pengukuran suhu.....	36
Tabel 14.	Hasil pengukuran pH.....	37
Tabel 15.	Hasil pengukuran kekeruhan.....	37
Tabel 16.	Hasil pengukuran konduktivitas.....	39
Tabel 17.	Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut.....	40
Tabel 18.	Komposisi penambahan bahan pencemar.....	44
Tabel 19.	Konsentrasi air limbah setelah penambahan beban pencemar.....	44



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Aliran vertikal.....	6
Gambar 2.	Aliran Horizontal.....	7
Gambar 3.	Proses kerja <i>Ecological Floating Bed</i>	9
Gambar 4.	Tanaman eceng gondok.....	11
Gambar 5.	Spons polyuretan	14
Gambar 6.	Diagram alir tahapan penelitian.....	19
Gambar 7.	Reaktor EFB dengan tambahan spons	21
Gambar 8.	Media penyangga apung.....	21
Gambar 9.	Tampilan ketiga jenis reaktor	22
Gambar 10.	Tahap penimbangan kertas saring <i>Whatman</i>	
Gambar 11.	Tahap penimbangan dan penyaringan TSS	59
Gambar 12.	Reaktor dengan tanaman Kangkung Air	28
Gambar 13.	Tanaman Kangkung Air yang layudan mati	29
Gambar 14.	Pengambilan Eceng Gondok	29
Gambar 15.	Reaktor EFB yang telah menggunakan Eceng Gondok	30
Gambar 16.	Grafik nilai TSS.....	31
Gambar 17.	Grafik nilai TDS	34
Gambar 18.	Kondisi Eceng Gondok setelah masa aklimatisasi	41
Gambar 19.	Kondisi Eceng Gondok pada akhir tahap 1	41
Gambar 20.	Perbandingan Efisiensi Penyisihan TSS ketiga reaktor.....	42
Gambar 21.	Perbandingan Efisiensi Penyisihan TDS ketiga reaktor.....	43
Gambar 22.	Perbandingan grafik penyisihan TSS	45
Gambar 23.	Perbandingan grafik penyisihan TDS.....	46
Gambar 24.	Diagram perbandingan persentase efisiensi penyisihan TSS tahap 1 dan tahap 2.....	47
Gambar 25.	Diagram perbandingan persentase efisiensi penyisihan TDS tahap 1 dan tahap 2.....	48



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil Pengujian Parameter TSS	55
Lampiran 2.	Hasil Pengujian Parameter TDS	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angka pertumbuhan penduduk di Indonesia diprediksikan akan terus bertambah pada setiap tahunnya. Salah satu dampak *negative* yang dirasakan ialah ancaman kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh perilaku para masyarakat yang tidak *'concern'* terhadap limbahnya. Hal ini terjadi pula pada kawasan Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia yang merupakan kawasan dengan tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Dari tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi itulah mulai banyak terjadi perilaku – perilaku masyarakatnya yang berdampak buruk bagi lingkungan sekitar. Salah satunya adalah pencemaran air yang diakibatkan oleh pembuangan air limbah domestik secara langsung ke badan air. Limbah tersebut kebanyakan berasal dari industri laundry, usaha makanan, dan bangunan – bangunan kost. Air limbah domestik sendiri ialah air yang buangan yang berasal dari kegiatan rumah tangga atau pemukiman seperti kamar mandi, tempat pencucian, WC, serta tempat memasak (Sugiharto, 2008).

Dinyatakan bahwa sekitar 70% limbah air dibuang langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Dari kegiatan pembuangan limbah *domestic* langsung ke lingkungan inilah yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan berupa pencemaran badan air (Supradata, 2005). Limbah *domestic* cair biasanya mengandung banyak senyawa-senyawa *organic* seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang cukup tinggi. Untuk TSS dan TDS sendiri jika pada suatu ekosistem air mengandung TSS dan TDS yang cukup tinggi, maka hal tersebut dapat menyebabkan turunnya jumlah oksigen yang terlarut pada air yang akan mengganggu ekosistem air dengan mengganggu proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman (Soemirat, 2004). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, kadar TSS air limbah dari *domestic* adalah sebesar 30 mg/L. Sedangkan untuk TDS, menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 429/ Menkes/ Per/ IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum yang berisikan bahwa salah satu parameter TDS dalam air minum yang kadar maksimumnya diperbolehkan adalah sebesar 500 mg/L.

Salah satu teknologi untuk mengolah air limbah *domestic* yang dapat diaplikasikan oleh banyak lapisan masyarakat ialah lahan basah buatan dengan memanfaatkan tanaman air. Pada negara lain sudah terdapat metode pengolahan air limbah *domestic* dengan memanfaatkan tanaman air yang dinamakan *Ecological Floating Bed* (EFB) (Nakamura, 1997). Pada pengaplikasiannya, efisiensi EFB sangat bergantung pada struktur, tingkat aerasi, suhu, kandungan polutan pada air, serta jenis tanaman yang digunakan sebagai media pendegradasi polutan (Headley dan Tanner, 2012). Selain menggunakan tanaman sebagai media penyisih polutan, EFB juga dapat ditambahkan dengan media lain sebagai pendukung. Media pendukung tersebut ditambahkan dengan harapan dapat

menjadi tempat tinggal bagi mikroba yang dapat membantu menyisihkan senyawa-senyawa polutan. Salah satu media yang dapat digunakan ialah media berupa sponge. Sponge memiliki banyak rongga yang dimana jika sponge tersebut ditempatkan pada air maka rongga tersebut akan menjadi rumah bagi mikroba untuk tumbuh. Dari tumbuhnya mikroba inilah yang dapat mendegradasi polutan yang terdapat pada air karena polutan – polutan tersebut merupakan konsumsi bagi mikroba khususnya senyawa organik.

Penggunaan tanaman air dalam pengelolaan limbah cair dapat terjadi karena terjadinya proses pertukaran serta penyerapan ion antara badan air dan tanaman yang digunakan yang mengakibatkan perubahan fisik serta kimiawi pada badan air karena tanaman air akan berperan sebagai *stabilizer* bagi badan air yang tercemar. Salah satu tanaman yang dapat digunakan ialah eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang mana sudah teruji dapat menurunkan zat-zat polutan dikarenakan eceng gondok mempunyai kemampuan selain menyerap bahan organik dalam bentuk ion hasil pemecahan mikroorganisme juga mampu membebaskan oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan pencemar. Sehingga dengan banyaknya eceng gondok dan semakin lamanya waktu tinggal akan menurunkan bahan pencemar (Ikbal & Setiyono, 2004).

Dalam penelitian ini digunakanlah teknologi *Ecological Floating Bed* sebagai cara untuk melakukan penyisihan polutan terhadap air limbah *greywater* khususnya terhadap padatan tersuspensinya (TSS) dan padatan terlarut (TDS). Penelitian ini dilakukan di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Unniversitas Islam Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Hadir nya *Ecological Floating Bed* (EFB) yang diproyeksikan dapat menjadi suatu teknologi pengolahan limbah *greywater* merujuk pada dua buah pertanyaan yaitu,

1. Bagaimana kemampuan Reaktor EFB dalam penyisihan kandungan padatan tersuspensi (TSS) dan padatan terlarut (TDS) dalam air limbah *greywater*?
2. Apakah Reaktor EFB dengan penambahan media penyangga berupa Sponge akan lebih efektif dalam penyisihan polutan berupa TSS dan TDS pada air limbah *greywater* jika dibandingkan dengan Reaktor EFB yang tanpa menggunakan media penyangga?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui kemampuan Reaktor EFB dengan penambahan spons poliuretan dalam penyisihan kandungan polutan dalam air limbah *greywater* khususnya pada parameter padatan tersuspensi (TSS) dan padatan terlarut (TDS).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini baik bagi perguruan tinggi, masyarakat dan pemerintah, yaitu :

1. Memberikan solusi alternative dalam pengolahan limbah *greywater*.
2. Memberikan referensi pengolahan limbah *greywater* dengan menggunakan Reaktor EFB.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah dalam penelitian meliputi :

1. Penelitian berlokasi di Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia (FTSP UII) Gedung M. Natsir, Jalan Kaliurang KM 14,5, Sleman, Yogyakarta.
2. Limbah *greywater* yang digunakan adalah limbah buatan (sintetis) dengan kandungan polutan yang disesuaikan dengan kondisi pada sungai yang tercemar oleh air limbah domestik.
3. Reaktor yang akan digunakan meliputi Reaktor Kontrol, Reaktor EFB, Reaktor EFB dengan penambahan Sponge.
4. Parameter yang akan di uji adalah
 - a. Parameter khusus adalah padatan tersuspensi (TSS) dan padatan terlarut (TDS)
 - b. Parameter umum adalah pH, warna, kondisi tanaman (Eceng Gondok), suhu, DO, *turbidity*, dan EC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah (*Greywater*)

Grey Water ialah air limbah rumah tangga selain kotoran manusia berupa limbah kamar mandi, tempat masak, serta tempat pencucian. Ditemukan terdapat senyawa-senyawa *organic* pada air limbah *grey water* berupa protein, karbohidrat, minyak, urea, gas, *potassium*, karbon, serta kalsium. Ditemukan pula senyawa lain berupa surfaktan, *organic priority pollutant*, dan *volatile organic* seiring kemajuan teknologi (Hindarko, 2003). Air limbah domestik umumnya mengandung zat pencemar seperti *Biological Oxigen Demand* (BOD), *Chemical Oxigen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan partikel tercampur. Di Indonesia sendiri umumnya *grey water* yang dihasilkan oleh masyarakat langsung dibuang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Hal tersebut dibuktikan dengan tingkat pelayanan pengolahan *grey water* di Indonesia sebesar 1,1% yang mana hanya terdapat pada 11 kota besar dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) *domestic* terpusat (Balitbang, 2009).

Efek buruk dari pembuangan limbah *domestic* khususnya *grey water* langsung ke badan air antara lain ialah gangguan kesehatan, kehidupan biotik, psikologis, estetika, serta ekonomi. Jika diteliti dari sudut pandang kesehatan, air limbah air limbah dapat menjadi media bagi penyakit-penyakit berbahaya seperti kolera dan disentri. Dari sudut pandang kehidupan biotik, pencemaran dapat mengakibatkan kematian biota air karena turunnya kadar oksigen terlarut pada badan air. Dampak lingkungannya ialah bau tidak sedap dan terjadi perubahan warna pada badan air yang menimbulkan suasana tidak nyaman (Sugiharto, 2008).

2.2 Padatan Tersuspensi (TSS)

Total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*) atau yang biasa disingkat dengan TSS adalah semua senyawa padat atau partikel – partikel yang terlarut dalam air. Senyawa ini dapat berupa komponen biotik seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, jamur, maupun komponen abiotik seperti detritus dan senyawa anorganik. Senyawa padat tersuspensi dapat membentuk endapan awal yang dapat menghalangi kemampuan produksi senyawa organik suatu badan air. Hal tersebut diakibatkan terhalangnya penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air oleh padatan tersuspensi, sehingga fotosintesis tidak dapat berlangsung dengan sempurna (Permana, *et al.*, 1980). Turunnya oksigen terlarut pada badan air juga dapat mengganggu keberlangsungan ekosistem akuatik. Selain itu, apabila jumlah materi tersuspensi ini mengendap, maka pembentukan lumpur dapat mengganggu aliran serta menyebabkan pendangkalan (Soemirat, 2004).

Kualitas suatu badan air secara fisik dapat dinilai dari kandungan padatan tersuspensi serta kekeruhannya yang dapat diamati dari kejernihan air, warna air, serta aroma airnya (Asmadi & Suharno, 2012). Salah satu penyebab kekeruhan pada badan air ialah air limbah *domestic* yang langsung dibuang ke badan air

tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kualitas air. Hingga saat ini, Indonesia masih melakukan pengolahan limbah secara fisika, kimia, dan biologi dengan kurang efektif karena semakin kompleksnya limbah yang dihasilkan dan biaya operasional yang semakin meninggi (Sugiharto, 2008). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri menyatakan bahwa baku mutu kandungan padatan tersuspensi pada limbah domestik sebesar 30 mg/L (PermenLHK 68, 2016).

Cara pengujian kandungan TSS sendiri dapat dilakukan dengan metode gravimetri. Sampel air yang telah dihomogenkan disaring menggunakan kertas saring. Residu yang tertahan pada kertas saring dikeringkan pada suhu kurang lebih 105°C. TSS dapat dinilai dari kenaikan berat kertas saring. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total (SNI 06-6989.3-2004).

2.3 Padatan Terlarut (TDS)

TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah suatu padatan yang terurai dan terlarut di dalam air, TDS adalah benda padat yang terlarut yaitu semua mineral, garam, logam, serta kation-anion yang terlarut di air. Termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H₂O). Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion didalam air. TDS terukur dalam satuan *parts per million* (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air nutrisi penting dalam sistem biologis. Benda-benda padat di dalam air tersebut berasal dari banyak sumber organik seperti daun, lumpur, plankton, serta limbah industri dan kotoran. Sumber lainnya bisa berasal dari limbah rumah tangga, pestisida, dan banyak lainnya. Sedangkan, sumber anorganik berasal dari batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi, fosfor, sulfur, dan mineral lain. Semua benda ini berentuk garam, yang merupakan kandungannya perpaduan antara logam dan non logam. Garam-garam ini biasanya terlarut di dalam air dalam bentuk ion, yang merupakan partikel yang memiliki kandungan positif dan negatif. Air juga mengangkut logam seperti timah dan tembaga saat perjalanannya di dalam pipa distribusi air minum (Henderson, 2010).

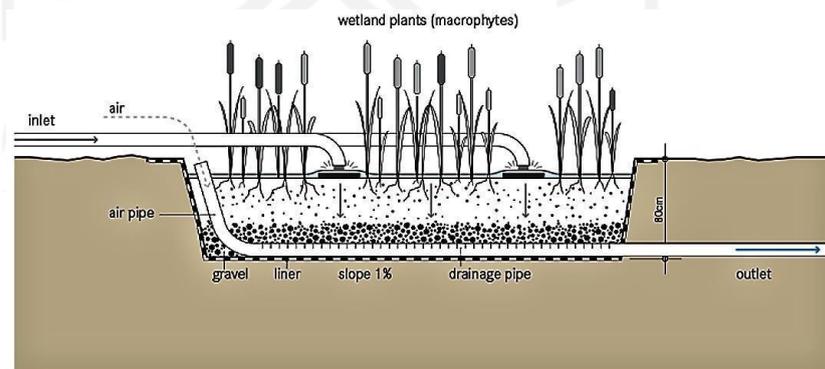
Sesuai regulasi dari *Environmental Protection Agency* (EPA), menyarankan bahwa kadar maksimal kontaminan pada air minum adalah sebesar 500 mg/liter (500 ppm). Kini banyak sumber-sumber air yang mendekati ambang batas ini. Saat angka penunjukan TDS mencapai 1000 mg/L maka sangat dianjurkan untuk tidak dikonsumsi manusia. Dengan angka TDS yang tinggi maka perlu ditindaklanjuti, dan dilakukan pemeriksaan lebih lanjut. Umumnya, tingginya angka TDS disebabkan oleh kandungan *potassium*, klorida, dan sodium yang terlarut di dalam air. Ion-ion ini memiliki efek jangka pendek (*short-term effect*), tapi ion-ion yang bersifat *toxic* (seperti timah, arsenik, kadmium, nitrat dan banyak lainnya) banyak juga yang terlarut di dalam air (Marwan, 2007).

2.4 Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*)

Penelitian terkait remediasi kualitas air pada ekosistem lahan basah alami

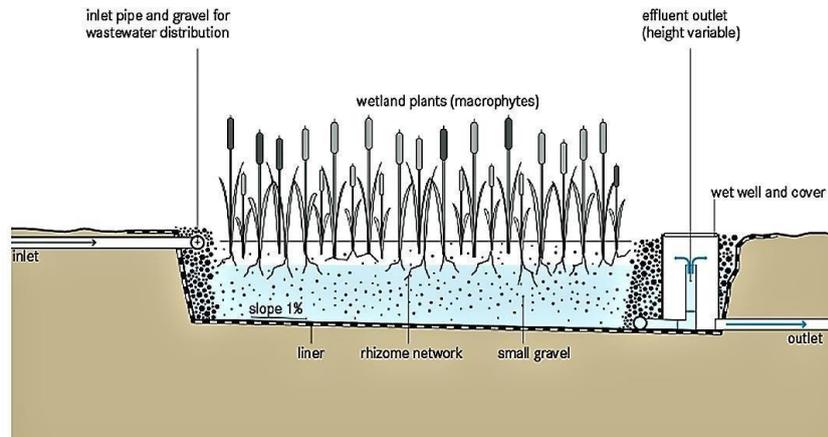
telah banyak dilakukan oleh ilmuan dalam bertahun – tahun yang membuka jalan ide pembuatan lahan basah buatan semirip mungkin dengan lahan basah alami demi kepentingan purifikasi air tercemar. Proses reaksi perbaikan kualitas air yang terjadi dalam ekosistem lahan basah dapat dibidang sangat kompleks dimana meliputi komponen penting seperti, fisika, kimia, dan biologi. Proses biologi merupakan aktivitas mikroorganisme yang menempel pada substrat pada dasar lahan basah (US EPA, 2000). Efisiensi remediasi kualitas air menggunakan lahan basah buatan bergantung pada vegetasi tanaman, mikroorganisme, serta substrat dan substansi limbah itu sendiri. Logam berat, perklorat, sianida, nitrat, pospat, dan juga kontaminan organik terbukti dapat disisihkan oleh teknologi lahan basah buatan. Lahan basah buatan telah pula berhasil mengolah air limbah dengan kandungan petroleum, bubur kertas, chlor-alkali, air limbah TPA (lindi), air limbah rumah tangga, air limbah pertanian, dan juga air limbah pertambangan (Dhir, 2013).

Pada dasarnya, lahan basah buatan dibagi menjadi *Free Water Surface* (aliran bebas permukaan) dan *Subsurface Water Flow* (aliran bawah permukaan). Lahan basah buatan aliran bebas permukaan adalah sistem lahan basah buatan yang dirancang agar semirip mungkin dengan kondisi alamiah ekosistem air, dimana permukaan air melebihi permukaan substrat (mengalir atau tidak). Umumnya tipe ini diaplikasikan pada pengolahan air pertanian dan limpasan air hujan. Sedangkan pada lahan basah buatan aliran bawah permukaan ialah lahan basah buatan yang mana permukaan air tidak melebihi substrat. Perbedaan yang cukup signifikan pada dua tipe ini ialah kondisi air yang terpapar langsung dan tidak langsung oleh atmosfer. Aliran bawah permukaan dibagi lagi menjadi 2 tipe yaitu *Horizontal Subsurface Flow* (aliran horizontal) dan *Vertical Subsurface Flow* (aliran vertikal) (US EPA, 2000; Dhir, 2013; Zhang, 2012). Penjelasan terkait kelebihan serta kekurangan kedua tipe aliran bawah permukaan disajikan dalam tabel berikut.



Gambar 1. Aliran vertikal

Sumber : Tilley, et al. 2014 (*Compendium of sanitation systems and technologies* – 2nd Revised Edition)



Gambar 2. Aliran Horizontal

Sumber : Tilley, et al. 2014 (*Compendium of sanitation systems and technologies – 2nd Revised Edition*)

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan.

Aliran Horizontal	Aliran Vertikal
Tidak memungkinkan terjadinya aerasi didalam substrat.	Memungkinkan aerasi didalam substrat.
Lebih bersifat anaerobik.	Lebih bersifat aerobik karena ada aerasi.
Terbatasnya penyisihan ammonia melalui reaksi nitrifikasi oleh karena kurangnya oksigen.	Kemampuan nitrifikasi lebih besar oleh karena masih ada aerasi.
Kurang efisien.	Lebih efisien.
Mengolah jumlah jenis kontaminan yang terbatas.	Mengolah lebih banyak jenis kontaminan.

Untuk sistem kerja lahan basah buatan tipe aliran bebas permukaan dapat bekerja dalam dua kondisi baik itu aerob maupun anaerob. Waktu retensi/tinggal untuk lahan basah buatan aliran bebas harus ditentukan dengan bijak agar tidak terjadi *blooming algae*. Vegetasi emergent sering kali digunakan untuk tipe ini seperti *Typha spp.*, *Scirpus spp.*, dan *Phragmites spp.* Tajuk dari vegetasi yang ditanam akan menaungi permukaan air sehingga dapat mencegah terjadinya pertumbuhan alga dan mereduksi turbulensi angin yang masuk kedalam system lahan basah buatan. Analisis terkait kelebihan dan kekurangan system aliran bebas permukaan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. Kelebihan dan kekurangan lahan basah buatan aliran bebas permukaan

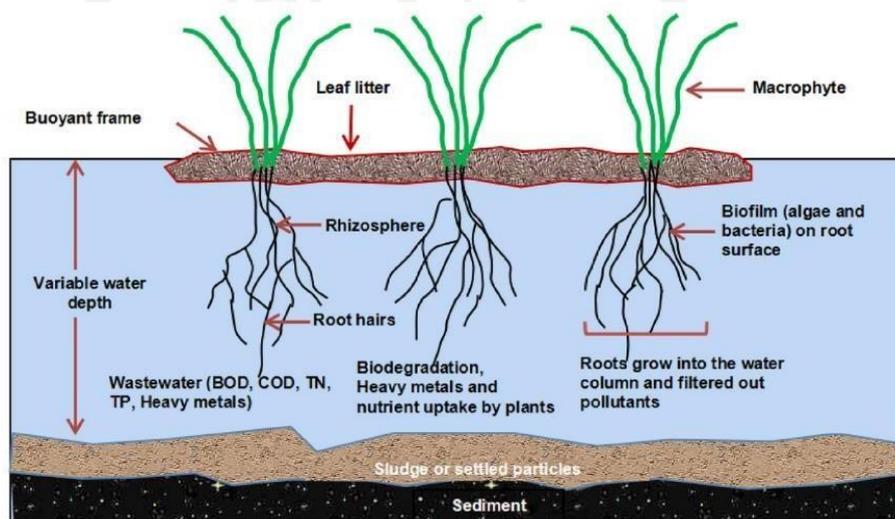
Kelebihan	Kekurangan
Pengolahan limbah yang efektif karena tidak dibutuhkan berbagai macam peralatan mekanis, hemat energy, dan tidak diperlukan keahlian khusus pada pengoperasiannya.	Membutuhkan lahan yang cukup luas, terlebih jika keperluannya untuk mereduksi nitrogen serta fosfor.
Minim biaya.	Kadar pospor, logam, dan beberapa bahan organik yang sulit terurai akan tersedimentasi dan terakumulasi dalam system dari waktu ke waktu.
Terbilang adaptif terhadap kondisi cuaca.	Penurunan kadar BOD dan proses nitrifikasi/denitrifikasi akan berkurang efektivitasnya pada musim dingin.
Memiliki nilai tambah sebagai ruang terbuka hijau.	Penurunan kadar ammonia melalui proses nitrifikasi akan berkurang efektivitasnya pada kondisi perairan yang bersifat anaerobic.
Tidak membentuk sludge limbah.	Munculnya nyamuk atau serangga lain yang menyukai perairan terbuka.
Sangat efektif bagi penurunan kadar BOD, COD, TSS, logam, serta bahan organik lain. Penambahan waktu tinggal lebih efektif dalam penurunan nitrogen dan fosfor.	Tidak optimal dalam menurunkan jumlah bakteri coliform.

2.5 Ecological Floating Bed (EFB)

Ecological Floating Bed (EFB) adalah teknologi remediasi badan air terbarukan yang dikembangkan dengan pemanfaatan lahan basah buatan. EFB memiliki nilai unggul antara lain ialah ekonomis, efisien, sederhana, adaptif terhadap kondisi air, serta mudah dioperasikan (Zhao, 2012). Penelitian membuktikan bahwa EFB sangat efisien dalam menghilangkan polutan seperti karbon, fosfor, serta nitrogen dalam air, dan juga dapat menghambat pertumbuhan alga secara luas. Selain itu, EFB dapat secara efektif mencegah proses eutrofikasi dan menyediakan ekosistem yang baik bagi komponen biotic (Benvenuti, 2018; Castro-Castellon, 2016). Ditemukan juga bahwa EFB dapat menyerap nutrisi dalam air untuk pertumbuhan dan reproduksi mereka sendiri, dan biofilm yang digunakan dapat meningkatkan degradasi polutan melalui pelibatan mikroorganisme. Hal tersebut semakin membuktikan bahwa teknologi EFB dapat menjadi teknologi pemurnian air yang menjanjikan (Tanner dan Headley, 2011). EFB diklaim mampu dalam pemulihan air sungai, danau, sumber air minum, air

limbah akuatik, air limbah medis, air limbah tekstil, limpasan air hujan, serta air tercemar logam berat (Abed, 2017).

Kemampuan EFB dalam menurunkan kadar polutan pada air terjadi karena tanaman air yang digunakan akan menangkap senyawa organik pada akarnya. Oksigen yang diserap akan dialirkan ke akar yang terendam dalam air yang akan membantu pertumbuhan mikroba dan nitrifier (Abed, 2017). Akar tanaman juga akan melepaskan gula dan vitamin seperti riboflavin, tiamin, piridoksin, serta asam organik seperti sitrat, malat, oksalat, asam amino, asam benzoate, dan fenol dengan proses rhizodeposisi (Cheng, 2013). Senyawa organik yang melewati akar akan menempel pada biofilm yang akan menjadi sumber makanan mikroba. Efisiensi penurunan senyawa organik bergantung pada metabolisme bakteri, jamur, dan ganggang yang terdapat pada lapisan biofilm (Chen, 2012).



Gambar 3. Proses kerja *Ecological Floating Bed*

Sumber : Samal *et al.*, 2019 (*Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance*)

Faktor yang mempengaruhi kinerja EFB dalam menurunkan polutan organik di perairan antara lain adalah;

1. Tanaman yang digunakan

Pemilihan tanaman yang digunakan adalah salah satu faktor kunci yang dapat mempengaruhi penurunan kadar polutan air (L. M. Wu *et al.*, 2010). Hal ini dikarenakan adanya perbedaan fisiologis tiap tanaman (X. R. Mao, 2011). Secara umum tanaman dengan akar yang telah berkembang memiliki tingkat efektifitas lebih tinggi dalam menurunkan polutan dibanding dengan akar yang belum berkembang. Selain itu tanaman yang memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi lebih baik dibandingkan tanaman dengan tingkat pertumbuhan yang rendah. Hal tersebut dikarenakan tanaman dengan tingkat pertumbuhan yang tinggi dan memiliki akar yang berkembang dapat menyerap banyak zat organik, sehingga efek penurunan polutan air lebih besar (Y. Ge *et al.*, 2000).

2. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penunjang pertumbuhan tanaman. Ketika suhu tinggi metabolisme pertumbuhan tanaman akan meningkat sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan zat polutan (J. F. Zhen *et al*, 2008). Namun menurut Zhao (2012) tiap tanaman memiliki suhu optimalnya masing masing sehingga suhu air yang hangat tidak selalu memberi dampak yang optimal bagi penurunan polutan.

3. Waktu

Efektifitas sistem EFB sangat erat kaitannya dengan waktu (L. M. Wu *et al*, 2010). Sebagai contoh tanaman *lycopus*, *rumex japonicas* yang mampu mendegradasi kandungan nitrogen dan fosfor secara optimal dalam 30 hari pertama, sementara pada 30 hari selanjutnya mengalami penurunan (G. F. Xu *et al*, 2010). Sebuah studi menyatakan bahwa kecenderungan tanaman dalam menurunkan polutan pada awalnya meningkat kemudian akan menurun (T. O. Ajayi, 2012).

4. Area cakupan

Efisiensi penurunan kadar polutan pada sistem EFB secara langsung berkaitan dengan cakupan EFB. Jika cakupannya luas maka efisiensi penurunan kadar polutan akan meningkat. Sebagai contoh EFB dengan tanaman bayam yang memiliki cakupan 20% dari luas area restorasi memiliki efektivitas tinggi dalam menurunkan polutan dan nilai ekonomisnya lebih tinggi dibanding EFB dengan cakupan 10% dan 15% (J. Z. Chen *et al*, 2010).

Berbagai keunggulan dari teknologi lahan basah buatan berupa Reaktor EFB sudah dijelaskan pada beberapa paragraf diatas. Namun, untuk kekurangannya belum banyak dijelaskan jika mengutip dari berbagai referensi. Secara garis besar kekurangan yang dapat diperkirakan dari penerapan teknologi lahan basah buatan ialah memerlukan waktu yang cukup lama untuk dapat mendegradasi polutan tertentu, membutuhkan jenis tanaman yang tepat dengan kondisi limbah, bergantung pada kondisi iklim, serta memerlukan penelitian khusus terhadap tanaman pendegradasi jika merupakan tanaman konsumsi.

2.6 Tanaman Air Penyisih Polutan

Pertumbuhan yang sangat pesat pada diri tanaman air menjadikan tanaman tersebut disebut sebagai gulma. Tanaman air memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pangan, pakan, bahan pengobatan, serta bahan industry. Selain itu, tanaman air juga dapat dimanfaatkan sebagai media untuk pembersihan lingkungan dari pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat, limbah organik, dan lain sebagainya. Tanaman air sendiri memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa- senyawa tertentu pada perairan terlebih lagi pada perairan yang terkontaminasi oleh limbah cair domestic. Penggunaan tanaman air dalam pengelolaan limbah cair dapat terjadi karena terjadinya proses pertukaran serta penyerapan ion antara badan air dan tanaman yang digunakan yang mengakibatkan perubahan fisik serta kimiawi pada badan air karena tanaman air akan berperan sebagai *stabilizer* bagi badan air yang tercemar (Yusuf, 2008).

Salah satu tanaman yang umum digunakan sebagai tanaman pendegradasi polutan ialah Eceng Gondok. Eceng gondok banyak digunakan dalam pengolahan limbah karena dapat menurunkan kadar BOD, terjadinya partikel tersuspensi dalam proses biokimia (kejadiannya cukup lambat), dan dapat menyerap logam berat (Dewi, 2012).



Gambar 4. Tanaman eceng gondok

Sumber : Fika Hariyanti, 2016 (*Efektifitas subsurface flow-wetlands dengan tanaman eceng gondok dan kayu apu dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah pabrik saus*)

1. Klasifikasi Eceng Gondok (Anonim, 2010)

Divisi : Spermatophyta
Sub divisi : Angiospermae
Kelas : Monocotyledoneae
Suku : Pontederiaceae
Marga : Eichhornia
Spesies : Eichhornia crassipes Solms

2. Manfaat Eceng Gondok

Eceng Gondok memiliki sifat – sifat alamiah yang dapat berperan sebagai penjernih air yang tercemar polutan. Eceng gondok ini terbukti efektif menurunkan kadar BOD, COD dan TSS pada air limbah dalam beberapa penelitian.

- a. Eceng gondok dalam bentuk arang aktif yang teraktifasi mampu menurunkan kekeruhan sebesar 78,17%, COD sebesar 58,13%, BOD sebesar 64,70% sedangkan yang tidak teraktifasi dapat menurunkan kekeruhan sebesar 41,29%, COD sebesar 55,81% dan BOD sebesar 58,80% (Andika, 2003).
- b. Pemanfaatan eceng gondok pada pengolahan air limbah *laundry* terbukti dapat menurunkan kadar deterjen sebesar 19,63%, BOD 37,24% dan COD sebesar 20,93% (Rukmi, 2013).
- c. Pemanfaatan eceng gondok dalam membersihkan kualitas air sungai gadjah wong Yogyakarta terbukti dapat menurunkan kadar COD dari 11,25 mg/l menjadi 5,46 mg/l, BOD dari 5,51 mg/l menjadi 2,73 mg/l (Setyanto & Warniningsih, 2011).
- d. Efektifitas jumlah rumpun tanaman eceng gondok dalam pengendalian

- limbah cair domestik diperoleh hasil pada perlakuan limbah cair
3. Kelemahan Eceng Gondok
 - a. Meningkatnya *evapotranspirasi* yaitu penguapan dan hilangnya air melalui daun-daun tanaman
 - b. Menurunnya jumlah cahaya yang masuk ke dalam perairan sehingga menyebabkan tingkat kelarutan oksigen dalam air
 - c. Eceng gondok yang mati akan turun ke dasar perairan sehingga mempercepat pendangkalan.
 4. Cara kerja Eceng Gondok dalam *Sub Surface Wetland*

Akar eceng gondok bercabang menjadi cabang-cabang kecil, dan permukaan akarnya digunakan sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme. Berkurangnya polutan disebabkan oleh kemampuan eceng gondok dalam menyerap bahan organik berupa ion-ion hasil penguraian mikroorganisme dan pelepasan oksigen bagi mikroorganisme untuk menguraikan polutan (Ikbal & Setiyono, 2004). Dengan begitu, jumlah eceng gondok yang banyak dan waktu tinggal yang lebih lama akan mengurangi polutan.

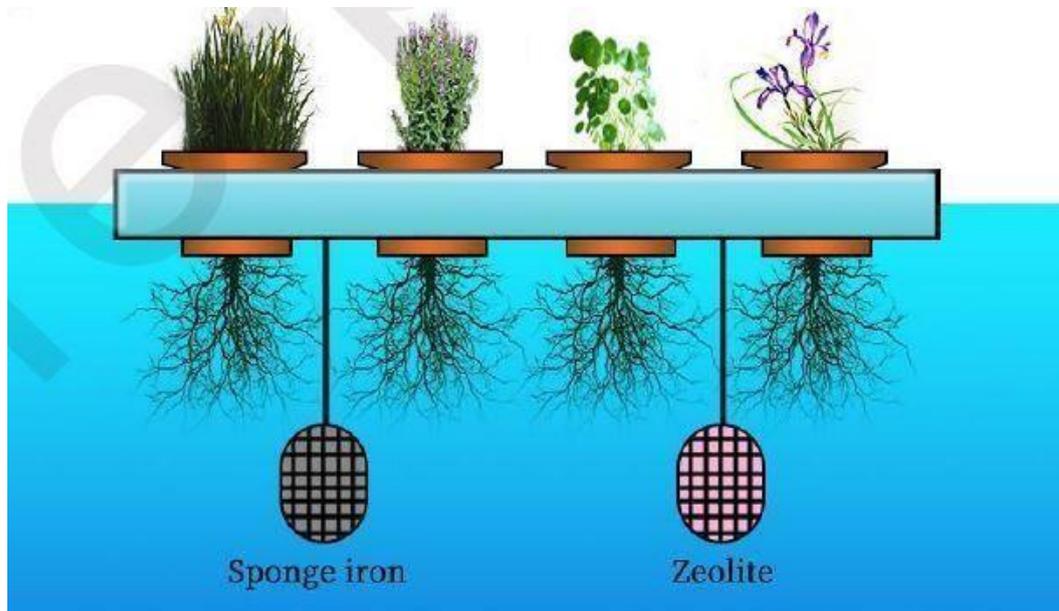
Kemampuan eceng gondok sebagai filter biologis tidak terlepas dari keberadaan mikroorganisme rhizosfer di dalam akar serta didukung oleh daya serap dan penumpukan polutan yang kuat. Mikroorganisme rhizosfer pada akar eceng gondok dapat mereduksi bahan organik terlarut dalam air dengan cara menyerap bahan organik dari air dan sedimen dan menumpuknya di dalam struktur batang (Marianto, 2001).

2.7 Media Penyangga Berupa Sponge

Media biofilter merupakan suatu langkah penting dari biofilter, maka pemilihan media harus dilakukan dengan seksama sesuai dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah (Kemenkes RI, 2011). Machdar et al (1997) mengusulkan sebuah proses perawatan pasca aerobik baru yang diberi nama reactor *Downflow Hanging Songe-Cubes*. Prinsip kerja DHS hampir sama dengan sistem trickling filter. Media filter menggunakan rangkaian spons dari bahan poliuretan yang disusun secara seri untuk menahan mikroba. Sistem ini bekerja dengan prinsip down-flow yaitu air limbah dialirkan dari bagian atas reaktor terus diolah oleh mikroorganisme yang tumbuh di permukaan media spons pada saat air limbah tersebut mengalir melewati reactor. Spons yang berada di dalam reactor DHS menggantung secara bebas di udara, oksigen dapat terlarut secara alami. Maka sistem ini tidak memerlukan aerasi tambahan (Machdar et al., 2000. Tadunkar et al., 2005. Uemura et al., 2002).

Media penyangga yang digunakan pada biofilter secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media yang berbahan organik misalnya bentuk tali, jaring, butiran tak teratur (random packing), papan (palte), sarang tawon dan lain-lain (Kementrian RI, 2011). Dalam penelitian ini menggunakan media penyangga spons sebagai penghalang, spons ini biasa digunakan untuk media filter serta tempat pertumbuhan mikroorganisme. Selain harganya yang murah, spons ini juga memiliki banyak kegunaan karena

strukturnya berpori, memiliki permukaan yang lembut dan dapat menyerap cairan serta menyimpannya (Tadunkar et al., 2005).

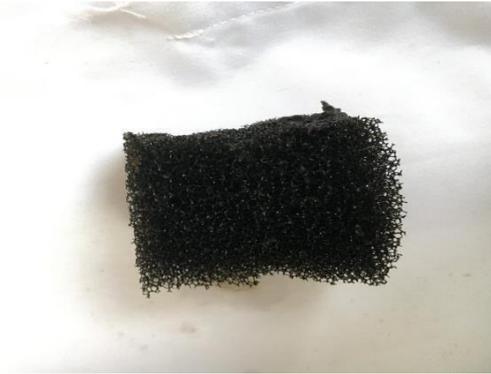


Gambar 5. Contoh Modifikasi *Ecological FloatingBed* dengan *Iron Sponge* dan *Zeolite*.

Sumber : Wang (2018)

Pemilihan media dalam sistem *attached growth* sangat menentukan kinerja reaktor. Pemilihan media yang sesuai dan efektif untuk mendukung kinerja reaktor telah menjadi bahan pembahasan dalam beberapa artikel penelitian (Zhang et al., 2016). Spons merupakan media penyangga yang dapat berperan sebagai media filter dan rumah bagi pertumbuhan bakteri. Karena spons dapat menyerap dan menyimpan cairan dan harganya relatif murah, spons adalah salah satu media penyangga yang paling umum digunakan (Leontine et al., 2013).

Nicholson (1997) menyatakan bahwa poliuretan adalah bentuk polimer termoset dari reaksi antara senyawa diisocianat dengan senyawa polifungsi yang mengandung sejumlah gugus hidroksi. Spons poliuretan yang berbentuk kubus 3x3 cm dapat mendistribusi air limbah yang masuk melewati lubang pori yang cukup homogen dan tersebar secara merata, dengan strukturnya yang berpori dan memiliki porositas yang tinggi hal ini dapat membantu dalam perkembangbiakan mikroorganisme dan bahan organik serta membantu menurunkan parameter COD dan TSS di air limbah.



Gambar 6. Spons polyuretan

Sumber : *Dokumentasi, 2020*

Dengan kemampuan yang dimiliki poliuretan sponge sebagai biofilter, hal tersebut mendukung penggunaan poliuretan sponge sebagai media penyangga modifikasi pada penelitian ini. Poliuretan sponge akan digunakan pada reaktor disandingkan dengan tanaman yang akan digunakan sebagai tanaman penyisih polutan. Hal tersebut dilakukan dengan harapan bahwa dengan digunakannya tanaman penyisih polutan dan media penyangga berupa poliuretan sponge dapat lebih efektif dalam proses mendegradasi konsentrasi polutan yang terdapat pada air limbah greywater.

2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan lahan basah sebagai teknologi pengolahan limbah dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Penelitian terdahulu

Nomor	Sumber	Tipe reaktor	Tanaman	Media	Hasil
1	Annisa, S., Rofiq, I., & Prayatni, S. (2013).	<i>Floating Treatment Wetlands</i>	<i>Ipomoea reptans, Amaranthus tricolor, dan Lactuca sativa</i>	-	Hasil eksperimen telah mendemonstrasikan efektivitas FTWs dalam menyisihkan parameter pencemar umum, yaitu TSS, BOD5, COD, NH4+, dan PO4. FTWs mungkin dapat menjadi teknologi pengolahan yang dapat digunakan sebagai pilihan untuk restorasi sungai. Dalam konteks peningkatan kualitas air, pada tahap ke-2, belum terlihat perbedaan yang signifikan dari ketiga jenis vegetasi.

2	Haerana h, A., Ridhaya ni, A. (2019).		-	Eceng Gondok (<i>Eichhornia sp.</i>), dan Kangkung air (<i>Ipomea aquatic Forsk</i>)	-	Ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi BOD air limbah tahu sebelum dan sesudah dikontakkan ta naman Kangkung Air (<i>Ipomea sp.</i>) dan Eceng Gondok (<i>Eichhornia sp.</i>) sedangkan konsentrasi TSS air limbah tahusebelum dan sesudah dikontakkan tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia sp.</i>) dan Kangkung Air (<i>Ipomea sp.</i>) tidak ada perbedaan yang signifikan. Media yang digunakan dalam metode fitoremediasi yang paling efektif dalam menurunkan kadar BOD dan TSS pada limbah cair pabrik tahu adalah dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia sp.</i>).
3	Nov ita, R.D.		<i>Free Water System (FWS)</i> dan <i>Sub-surface Flow System (SSF)</i>	-	-	Salah satu teknologi untuk mengolah air limbah domestik adalah lahan basah buatan. Dalam lahan basah buatan terdapat dua sistem yang dikembangkan saat ini yaitu <i>Free Water System (FWS)</i> dan <i>Sub-surface Flow System (SSF)</i> . Sistem <i>SSF</i> baik untuk diterapkan pada skala yang kecil seperti perumahan indi vidual, komunal, taman, sekolah dan fasilitas publik serta area komrsial sedangkan <i>FWS</i> baik untuk diterapkan pada pemukiman skala besar dan sistem industri.

4	Affifah, R., Badrus, Z., & Purwono . (2016) .		<i>Constructed Floating Wetland</i>	Kiambang (<i>Salvinia Molestia</i>)	-	Efisiensi penyisihan BOD oleh tumbuhan kiambang paling besar pada reaktor 75% di hari ke-3 yaitu sebesar 86,35%, sedangkan efisiensi penyisihan fosfat terbesar terdapat pada reaktor 5 dengan luasan penutupan sebesar 100% di hari ke-3 yaitu sebesar 71,71%. Luasan tanaman pada area permukaan reaktor tidak berpengaruh pada penyisihan BOD dan fosfat
---	---	--	-------------------------------------	---------------------------------------	---	---

Berdasarkan beberapa referensi tersebut, pemanfaatan lahan basah buatan sebagai alternatif pengolahan limbah greywater akan sangat bergantung terhadap komponen-komponen reaktor yang digunakan seperti jenis tanaman, media penyangga, tipe reaktor, serta metode pengoperasian yang digunakan. Atas dasar tersebut itulah pada penelitian ini digunakan teknologi pemanfaatan lahan basah buatan berupa EFB yang mana pada salah satu reaktornya ditambahkan modifikasi berupa penambahan poliuretan spons sebagai media penyangga.

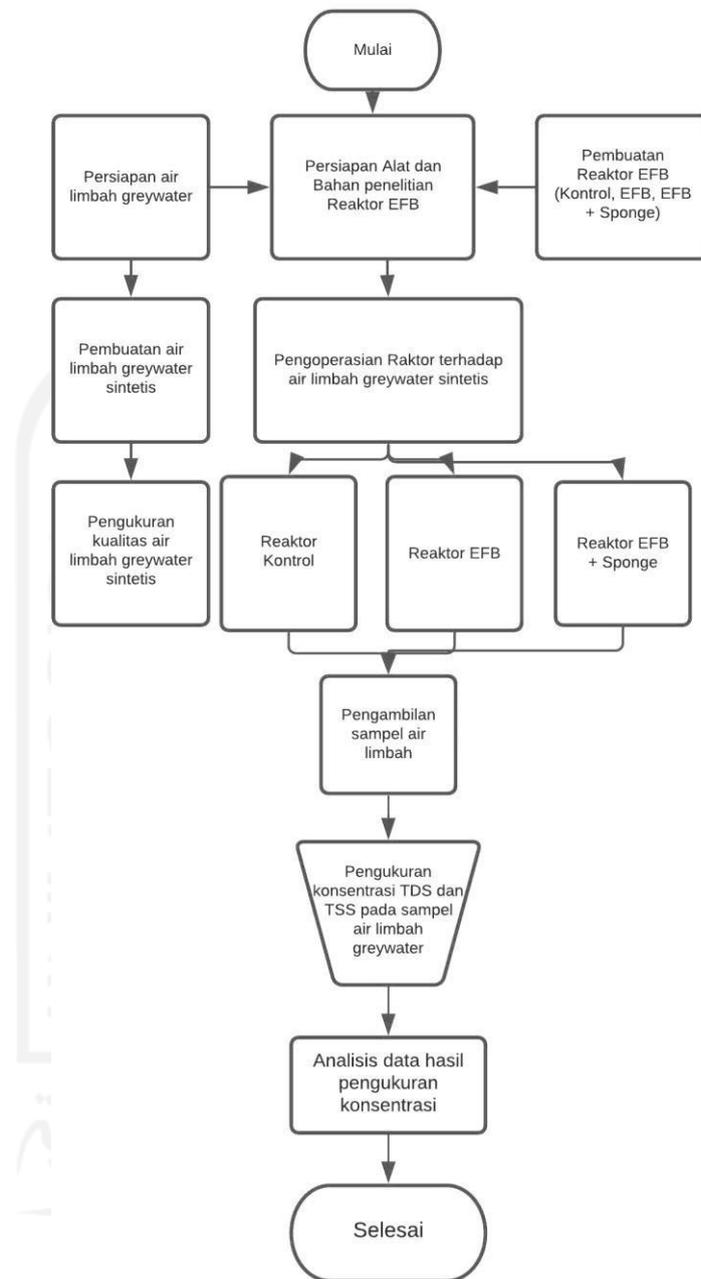
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian dengan tahapan pendahuluan dimana lokasi yang digunakan tidak memerlukan lokasi terkhusus. Pemilihan lokasi ditentukan pada area sekitaran Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pertimbangan dalam pemilihan lokasi ialah lokasi yang aman, terdapat pancaran sinar matahari yang cukup, serta dapat memudahkan proses penelitian. Sedangkan untuk waktu penelitian, direncanakan penelitian akan berlangsung selama kurang lebih 2 bulan yaitu dari akhir bulan Oktober hingga pertengahan bulan November. Estimasi lamanya penelitian berlangsung didasari oleh terdapat tahapan-tahapan penelitian yang memerlukan interval waktu tersendiri untuk diteliti.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini menjelaskan mengenai alur pelaksanaan penelitian secara garis besar yang dapat dilihat melalui bagan alir pada **Gambar 6**. Seperti yang telah digambarkan pada diagram alir, penelitian akan diawali dengan penyiapan alat dan bahan berupa komponen-komponen pembuat reaktor dan bahan berupa air limbah yang digunakan. Selanjutnya pada tahap operasional dilakukan dengan memberikan kontak pada air limbah dengan reaktor. Pada tahap operasional ini sekaligus dilakukan pengambilan sampel pada masing-masing reaktor yang kemudian akan dilakukan penelitian terhadap kandungan-kandungan polutan yang ada didalamnya. Senyawa yang akan diteliti meliputi kandungan TSS, TDS, BOD, COD, Fosfat, Amonia, Nitrit, dan Nitrat. Selain itu juga dilakukan penelitian terhadap kandungan mikroorganisme yang terdapat pada masing-masing reaktor. Reaktor yang digunakan di klasifikasikan menjadi 3 yaitu reaktor kontrol, reaktor EFB tanpa penggunaan media penyangga, dan reaktor EFB dengan tambahan media penyangga berupa spons.

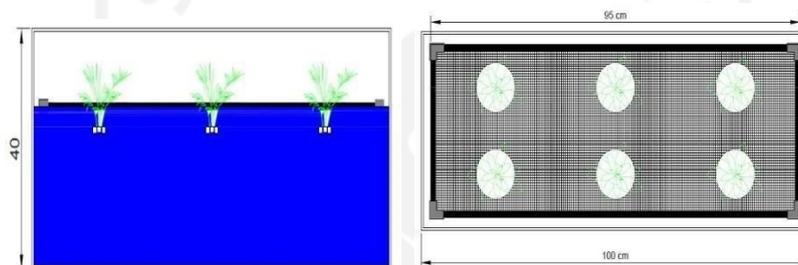


Gambar 7. Diagram alir tahapan penelitian

3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan Reaktor EFB

Alat yang diperlukan pada penelitian ini ialah perlengkapan reactor EFB yang mana terdiri atas media penyangga apung dan akuarium. Untuk akuarium sendiri dibutuhkan 3 akuarium. Reaktor pertama sebagai reaktor kontrol hanya di isi dengan air limbah, reaktor kedua *Ecological Floating Bed* menggunakan spons dengan jenis *sponge* yang ditujukan sebagai media tumbuh microorganisme yang

hidup di reaktor, dan yang terakhir adalah reaktor *Ecological Floating Bed* tanpa spons sebagai bahan komparasi dengan reaktor menggunakan spons. Ketiga akuarium tersebut berspesifikasi sama yaitu berbahan dasar kaca dengan volume 100cm x 40cm x 40cm. Sedangkan untuk media penyangga apung digunakan sebagai penyangga tanaman dan spons. Media penyangga apung tersebut tersusun dari beberapa pot berdiameter 10cm dengan susunan kerangka menggunakan pipa ukuran 0,5 inch dan elbow ukuran 0,5 inch. Penggunaan pot sendiri akan di isi dengan tanaman Eceng Gondok. Reaktor yang dibuat berupa tipe *batch* dimana tidak akan terjadi proses berpindah bagi air. Sehubungan dengan tipe *batch* ini, air limbah pada reaktor akan mengalami penurunan volume karena terjadi proses penguapan, penyerapan oleh tanaman, serta pengambilan sampel air. Untuk modifikasi berupa penambahan spons poliuretan sebagai media penyangga, ukuran spons yang digunakan ialah 3 cm x 3 cm x 3cm.



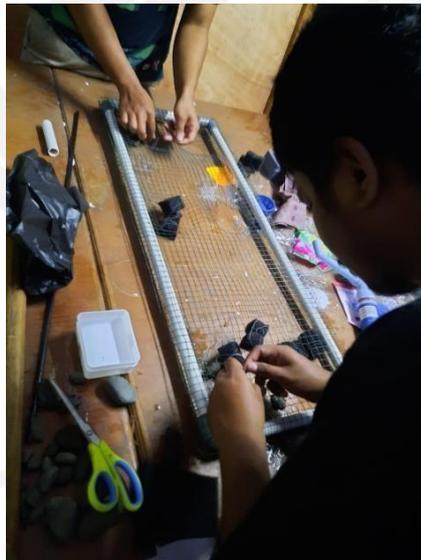
Gambar 8. (kiri) Tampak samping reaktor, (kanan) Tampak atas reaktor.
Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Tabel 4. Spesifikasi reaktor

Reaktor	Jenis	Dimensi	Media	Tanaman
1	Kontrol	100cm x 40cm x 40cm	-	-
2	EFB	100cm x 40cm x 40cm	-	Eceng Gondok
3	EFB + <i>Sponge</i>	100cm x 40cm x 40cm	Spons Poliuretan	Eceng Gondok



Gambar 9. Reaktor EFB dengan tambahan spons
Sumber : *Dokumentasi, 2020*



Gambar 10. Media penyangga apung
Sumber : *Dokumentasi, 2020*



Gambar 11. Tampilan ketiga jenis reaktor
 Sumber : *Dokumentasi, 2020*

Bahan yang digunakan dalam penelitian reactor EFB ini berupa air limbah sintetis. Air limbah tersebut dibuat dengan menambahkan bahan- bahan yang mengandung polutan sesuai parameter yang diuji. Air limbah tersebut akan dimasukan ke tiap-tiap reaktor dengan volume \pm 100 liter. Untuk tanaman air yang digunakan sebagai media pendegradasi polutan ialah tanaman Eceng Gondok. Eceng Gondok tersebut akan di masukan ke dalam pot-pot kecil yang terdapat pada media penyangga apung.

Tabel 5. Komposisi bahan pembuatan air limbah *greywater* sintetis.

No	Komposisi	Bahan	Jumlah	Satuan
1	0,722 gr KNO ₃ + 2 ml CHCl ₃ + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrat 100 mg/l	1	Liter
2	1,232 gr NaNO ₂ + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrit 250 mg/l	1	Liter
3	3,819 gr NH ₄ Cl + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Amonia 1000 mg/l	0,25	Liter
4	2,195 gr KH ₂ PO ₄ + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Pospat 500 mg/l	0,1	Liter
5	20 gr C ₆ H ₁₂ O ₆ + 1000 ml Air	Air Gula 0,1 M	1	Liter
6		Detergen	10	Gram
7		Pupuk NPK	0,2	Liter
8		Air	96,45	Liter
Total Volume Reaktor			100	Liter

Tabel 6. Komposisi bahan pembuatan air limbah sintetis tahap kedua.

No	Komposisi	Larutan	Jumlah	Satuan
1	0,722 gr KNO ₃ + 2 ml CHCl ₃ + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrat 100 mg/l	1,5	Liter
2	1,232 gr NaNO ₂ + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrit 250 mg/l	1,5	Liter
3	3,819 gr NH ₄ Cl + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Amonia 1000 mg/l	0,35	Liter
4	2,195 gr KH ₂ PO ₄ +	Larutan Induk Pospat	0,15	Liter

	1000 ml Akuades	500 mg/l		
5	30 gr C ₆ H ₁₂ O ₆ + 1000 ml Akuades	Air Gula 0,16 M	1	Liter
6		Detergen	15	Gram
7		Pupuk NPK	0,3	liter

3.2.2 Operasional Reaktor EFB

Pengoperasian reaktor dimulai dari selesainya pembuatan reaktor dan air limbah sintetis. Diawali dengan memasukan sampel air limbah sintetis ke dalam reaktor yang mana selanjutnya dimasukan tanaman yang akan digunakan. Setelah dimasukkannya tanaman ke dalam reaktor, dilakukan masa aklimatisasi pada tanaman selama 7 hari. Aklimatisasi bertujuan untuk menyesuaikan tanaman terhadap kondisi lingkungan baru yang akan ditempati, dimana tanaman tersebut akan mengatur morfologi, prilaku, dan jalur metabolisme biokimia pada tubuhnya untuk dapat bertahan hidup. Selain itu aklimatisasi juga dapat menstabilkan tanaman agar tidak terjadi fluktuasi dalam penyisihan bahan pencemar. Aklimatisasi dilakukan dengan memberikan kontak Eceng Gondok dengan air limbah sintetis selama 7 hari. Setelah masa aklimatisasi selesai, dilakukan lah tahap pengujian sampel dimana dilakukan dengan interval sehari sekali selama 4 kali, 3 hari sekali selama 4 kali.

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap dimana tahapan pertama dilakukan dengan konsentrasi polutan rendah dan yang kedua dilakukan menggunakan konsentrasi polutan yang lebih tinggi. Kedua tahapan tersebut sama – sama memiliki konsentrasi polutan yang melebihi baku mutu, hanya saja pada tahap kedua konsentrasi yang digunakan 1,5 hingga 2 kali lipat lebih tinggi dari pada konsentrasi pada tahap pertama. Tahapan pertama dilakukan selama 20 hari dan yang kedua dilakukan selama 28 hari. Pengoperasian reaktor dilakukan dalam 2 tahapan agar terlihat perbedaan kinerja reaktor. Parameter utama yang akan diuji selama penelitian ini adalah kandungan TSS dan TDS dalam reaktor. Pengambilan sampel parameter pendukung yang diambil antara lain pH, suhu, DO, turbidity dan Ec akan diukur pada saat pengambilan sampel parameter utama selama penelitian berlangsung.

3.2.3 Pengambilan Sampel Uji

Pada penelitian ini hanya berfokus terhadap kemampuan EFB dalam mendegradasi kandungan padatan tersuspensi (TSS) dan padatan terlarut (TDS) pada air limbah greywater yang digunakan sehingga pengukuran yang dilakukan hanya pada polutan TSS dan TDS.

Pengukuran kadar TSS dan TDS pada penelitian ini diawali dengan proses pengambilan sampel sebanyak 50 ml air limbah *greywater* pada ketiga akuarium. Pengambilan sampel diupayakan dilakukan setelah kondisi air limbah sudah homogen agar sampel yang diambil dapat dianggap sebagai *representative*

dari kondisi air limbah pada akuarium. Pengambilan sampel sebanyak 50 ml bukan tanpa alasan, melainkan hal tersebut dilakukan guna mendukung validnya analisis yang dilakukan dengan menggunakan analisis duplo yang mana pada satu percobaan digunakan 20 ml sampel.

Tabel 7. Tahapan operasional reaktor dan pengambilan sampel

Tahap	Durasi	Interval pengambilan sampel uji
Aklimatisai	7 hari	1 hari
Running 1	10 hari	3 hari
Running 2	21 hari	7 hari

Selain pengambilan sampel uji terhadap konsentrasi TSS dan TDS, pada penelitian ini juga melakukan pengukuran terhadap parameter lain selain TSS dan TDS. Parameter tersebut merupakan parameter pendukung yang meliputi pH, DO, *Electric conductivity*, suhu, dan kondisi fisik tanaman. Pengukuran parameter tersebut dapat dikatakan sederhana karena tidak memerlukan tindakan khusus seperti pada pengambilan sampel uji TSS. Pengukuran parameter umum tersebut dilakukan dalam kurun waktu yang sama setiap pengambilan sampel parameter utama.

3.2.4 Pengukuran Konsentrasi TSS

Sampel yang telah diambil akan di uji di Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Untuk menjamin validitas pengukuran TSS dan TDS, maka dalam penelitian ini juga akan dilakukan penjaminan terhadap mutu dan pengendalian terhadap mutu proses-proses analisis TSS dan TDS. Untuk jaminan mutu, maka beberapa hal akan diperhitungkan yaitu:

- a) Menggunakan alat gelas bebas kontaminasi dengan sterilisasi menggunakan aquades;
- b) Menggunakan alat ukur yang terkalibrasi; dan
- c) Melakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu simpan maksimum 24 jam.

Dalam pengukuran konsentrasi TSS dibutuhkan beberapa alat penunjang seperti gelas ukur 100 ml, Erlenmeyer 250 ml, corong kaca, pinset, krustang, kertas saring *Whatman*, oven, desikator, dan neraca massa. Sedangkan diperlukan bahan berupa sampel air limbah, dan juga aquades.

Pengukuran diawali dengan penimbangan kertas saring kosong yang telah dibentuk menyerupai corong. Setelah itu siapkan dua buah erlenmeyer dan 2 buah corong. Taruh corong di masing-masing erlenmeyer, dan taruh kertas saring di masing-masing corong. Jika sudah selesai, tuangkan aquades sampai kertas saring basah. Diamkan beberapa menit agar air aquades turun ke bawah erlenmeyer. Setelah air sudah turun semua, oven kertas saring selama satu jam dengan menggunakan suhu 103°-105°C . Lalu setelah selesai di oven masukkan kertas

saring ke desikator selama 10menit. Setelah selesai, timbang dengan neraca massa kertas saring lalu catat hasilnya.

Pengukuran dilanjutkan dengan penyaringan sampel uji serta penimbangan TSS. Pertama-tama siapkan sampel air 50 ml. Lalu siapkan dua buah erlenmeyer dan 2 buah corong. Taruh corong di masing-masing erlenmeyer, dan taruh kertas saring di masing- masing corong. Tungkan 50 ml sampel air ke kertas saring hingga basah semua, tunggu sampai air dikertas sarigan habis turun ke erlenmeyer. Setelah air sudah turun semua, oven kertas saring selama 10 menit dengan menggunakan suhu 103°-105°C . Lalu setelah selesai di oven masukkan kertas saring ke desikator selama 10menit. Setelah selesai, timbang dengan neraca massa kertas saring lalu catat hasilnya.

3.2.5 Pengukuran Konsentrasi TDS

Dalam pengukuran konsentrasi TDS hanya memerlukan alat berupa TDS meter. TDS meter hanya tinggal dicelupkan ke sampel limbah yang kemudian nilai TDS nya akan tertera pada TDS meter. Nilai yang akan tertera pada TDS meter ialah mg/L.

3.2.6 Analisis Data

Nilai yang didapat dari pengukuran sampel terhadap parameter TSS dan TDS nantinya akan dianalisis secara tersendiri dengan metode terkhusus. Hasil yang didapat dari tiap – tiap reactor nantinya akan dibandingkan guna mengetahui tipe pengolahan yang paling efisien dalam mendegradasi kandungan polutan TSS dan TDS pada kurun waktu tertentu.

3.2.6.1 Analisis Data TSS

Metode yang digunakan dalam analisa sampel dan persamaan mengikuti prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-6989.3- 2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri. Persamaan tersebut yaitu:

$$TSS \text{ (mg/l)} = \frac{(\square - \square) \times 1000}{\square} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan;

- TSS = *Total Suspended Solid* (mg/l)
- A = berat kertas saring + residu kering (mg)
- B = berat kertas saring (mg)
- V = volume contoh (l)

Dan untuk melakukan pengendalian mutu maka akan memperhatikan proses sebagai berikut:

- a) Melakukan analisis blanko untuk kontrol kontaminasi; dan
- b) Melakukan analisis duplo yang digunakan untuk mengkontrol ketelitian analisis. Perbedaan persen relatif (*Relative Percent Different* atau RPD)

terhadap dua penentuan (replikasi) adalah dibawah 5%, dengan menggunakan persamaan;

$$RPD = \frac{(X1-X2)}{(X1+X2)/2} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dimana X1 adalah kandungan padatan tersuspensi pada penentuan pertama. X2 adalah kandungan padatan tersuspensi pada penentuan ke dua. Bila nilai RPD lebih besar 5%, penentuan ini akan diulang.

3.2.6.2 Analisis Data TDS

Hasil data yang didapat dari pengukuran kandungan TDS melalui TDS meter terbilang sudah merupakan hasil akhir dari tahapan analisi data pada parameter TDS. Jikalau nanti hasil akhir dari penelitian ini mengharuskan untuk pengintegrasikan data antara hasil analisis parameter TSS dan TDS, hal tersebut sangat memungkinkan untuk dilakukan. Pengintegrasian data yang dilakukan dapat dilakukan dengan cara penambahan nilai TSS dan nilai TDS yang didapat pada sampel yang sama. Penambahan tersebut akan menghasilkan nilai *Total Solid* (TS).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Limbah

4.1.1 Air Limbah Yang di Gunakan

Seperti yang telah dijelaskan pada BAB III, pada awalnya penelitian direncanakan akan menggunakan air dari selokan FTSP UII sebagai sampel uji. Hal tersebut pun tidak memungkinkan untuk dilakukan karena kondisi selokan yang sedang kering karena sedang kemarau. Diputuskan lah untuk mengganti sampel air limbah greywater tersebut dengan menggunakan air limbah grey water buatan (sintetis) sebagai pengganti sampel air limbah greywater alami. Air limbah buatan tersebut pun disesuaikan dengan kemungkinan kandungan polutan-polutan yang terdapat pada air selokan FTSP UII yang mana merupakan saluran pembuangan pada daerah pemukiman yang cukup padat. Polutan-polutan tersebut ialah TSS, COD, TDS, Nitrit, Nitrat, Amonia, dan Pospat. Bahan yang ditambahkan untuk pembuatan air limbah sintetis tertera pada bab III diatas.

4.1.2 Konsentrasi Air Limbah Yang di Gunakan

Dengan dilakukannya pembuatan air limbah dengan komposisi yang telah dijelaskan pada sub-bab diatas, didapatkan lah air limbah dengan konsentrasi sebagai berikut.

Tabel 8. Konsentrasi polutan pada air limbah yang digunakan

NO	REAKTOR	KONSENTRASI POLUTAN AIR LIMBAH						
		TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	COD (mg/L)	AMONIA (mg/L)	FOSFAT (mg/L)	NITRIT (mg/L)	NITRAT (mg/L)
1	KONTROL	814	598	98,33	30,91	3,47	1,204	0,549
	EFB	724	629	95,83	31,89	3,77	1,122	0,547
	EFB + SPONGE	338,5	557	94,16	32,56	3,59	1,052	0,528

Selain beberapa parameter utama tersebut, dibutuhkan pula beberapa parameter pendukung sebagai data tambahan penelitian. Parameter tersebut ialah pH, suhu, konduktivitas, turbidity (kekeruhan), dan DO. Berikut ialah hasil nilai parameter pendukung tersebut yang terdapat pada air limbah yang digunakan.

Tabel 9. Kondisi parameter pendukung air limbah

PARAMETER PENDUKUNG				
NO	PARAMETER	KONTROL	EFB	EFB+ SPONGE
1	pH	7,5	7,33	7,27
	SUHU (°C)	26	26,2	26,9
	KONDUKTIVITAS (µs/cm)	896	939	835
	TURBIDITY (NTU)	2,32	3,58	3,11
	DO (mg/L)	1,2	1,7	2,2

4.2 Operasional Reaktor

Penelitian uji coba reactor EFB ini diawali dengan pembuatan air limbah greywater yang akan digunakan sebagai sampel uji penelitian. Setelah didapatkan air limbah greywater yang telah didapatkan nilai kandungan polutan yang terkandung didalamnya, dilakukanlah prosesi memasukan tanaman penyisih polutan berupa kangkung air (*Ipomea Aquatica F*). Selanjutnya dilakukan masa aklimatisasi terhadap kangkung air tersebut agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah selama 8 hari.



Gambar 12. Reaktor dengan tanaman Kangkung Air

Sumber : *Dokumentasi, 2020*

Saat tengah dilakukan masa aklimatisasi tepat pada hari kelima kondisi tanaman kangkung air didapatkan telah layu dan terdapat beberapa yang bahkan telah mati. Kematian Kangkung Air disebabkan oleh ketidak mampuan tanaman tersebut untuk beradaptasi terhadap lingkungan air dengan konsentrasi polutan seperti yang telah dijelaskan pada sub- bab sebelumnya. Kejadian tersebut dapat juga disebut dengan *shock loading* . Shock loading sendiri dapat diartikan sebagai kondisi dimana lingkungan memiliki konsentrasi polutan yang lebih tinggi daripada habitat tanaman sebelumnya.



Gambar 13. Tanaman Kangkung Air yang layu dan mati
Sumber : *Dokumentasi, 2020*

Dari kematian kangkung air tersebut mengakibatkan tertundanya penelitian dan diperlukan untuk mencari tanaman pengganti yang dapat bertahan hidup pada kondisi air limbah yang digunakan. Terdapat beberapa pilihan tanaman pengganti yang mana salah satunya merupakan Eceng Gondok. Eceng Gondok pun terpilih sebagai pengganti atas dasar tanaman tersebut mudah untuk didapatkan dan banyak literature yang membahas tentang kemampuan Eceng Gondok dalam menyisihkan polutan yang terdapat pada air.



Gambar 14. Pengambilan Eceng Gondok
Sumber : *Dokumentasi, 202*

Setelah mendapatkan tumbuhan Eceng Gondok dengan kondisi fisik dan jumlah yang diinginkan, dilakukan kembali prosesi aklimatisasi terhadap air limbah yang digunakan selama 7 hari guna menguji ketahanan hidup Eceng Gondok terhadap kondisi air limbah. Setelah dilakukan masa aklimatisasi, didapatkan bahwa Eceng Gondok dapat bertahan hidup terhadap air limbah yang digunakan. Dari hal tersebut diputuskanlah penggunaan Eceng Gondok dapat digunakan selama penelitian berlangsung.



Gambar 15. Reaktor EFB yang telah menggunakan Eceng Gondok
Sumber : *Dokumentasi, 2020*

Kendala yang selanjutnya ialah berubahnya interval waktu pengujian yang digunakan dari interval yang telah direncanakan. Hal tersebut dilakukan demi pengoptimalkan kinerja tanaman Eceng Gondok karena masa aklimatisasi yang sebelumnya dilakukan telah memakan waktu terlalu lama dan dikhawatirkan pada waktu kedepannya Eceng Gondok sudah tidak dapat bekerja secara optimal karena usianya. Perubahan yang dilakukan ialah memperkecil interval pengujian dan memperkecil durasi penelitian.

Tabel 10. Rencana awal durasi dan interval penelitian

Tahap	Durasi	Interval
Aklimatisasi	8 hari	2 hari sekali
<i>Running 1</i>	16 hari	4 hari sekali
<i>Running 2</i>	24 hari	6 hari sekali

Perombakan interval penelitian tersebut di ubah menjadi tabel berikut.

Tabel 11. Durasi dan interval penelitian setelah perombakan

Tahap	Durasi	Interval
Aklimatisasi	4 hari	Sehari sekali
<i>Running 1</i>	10 hari	3 hari sekali

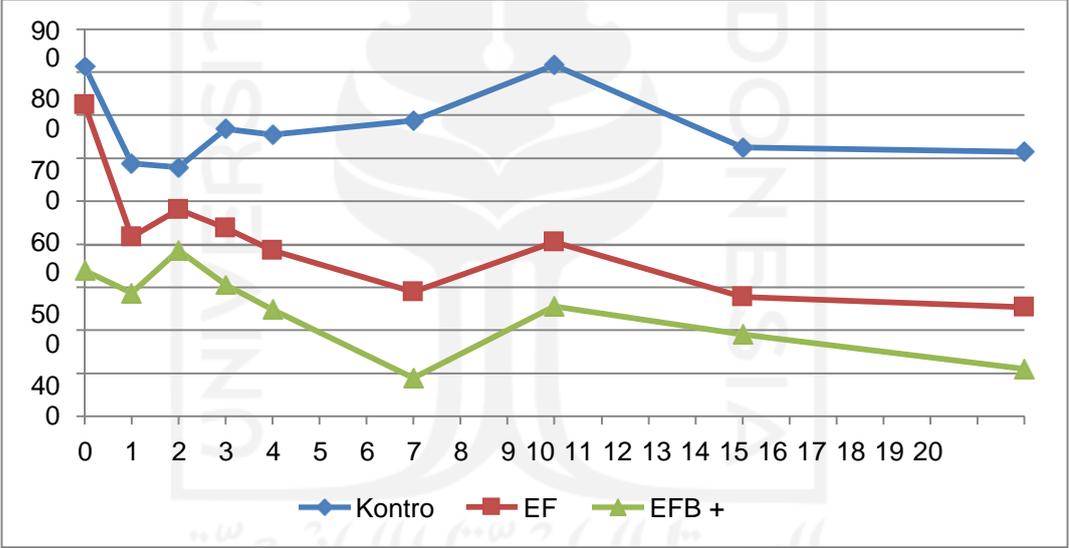
Running 2	21 hari	7 hari sekali
-----------	---------	---------------

Selain itu, dilakukan juga penambahan konsentrasi pada air limbah pada saat pelaksanaan penelitian pada hari ke 20. Penambahan beban pengolahan tersebut dilakukan karena kinerja reactor selama 20 hari terakhir belum dapat menunjukan hasil yang optimal. Dengan artian penyisihan polutan yang terjadi belum dapat menunjukan hasil bahwa reactor EFB dapat secara efektif menurunkan beban polutan dalam kurun waktu yang diberikan. Nantinya hasil penyisihan polutan dari kedua limbah dengan beban polutan yang berbeda akan dibandingkan.

4.3 Analisis Hasil Pengujian

4.3.1 Analisis Hasil Pengujian TSS

Seperti yang telah dijelaskan pada sub – bab diatas, penelitian berlangsung selama 20 hari dengan variasi interval pengujian yang berbeda – beda. Berikut ialah grafik nilai TSS selama masa pengujian.



Gambar 16. Konsentrasi TSS selama masa penelitian tahap 1

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan grafik kenaikan dan penurunan nilai TSS pada tiap reactor dalam kurun waktu 20 hari dan dengan interval pengujian yang telah ditetapkan. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai awal konsentrasi TSS pada sampel reactor control sebesar 814 mg/L, pada sampel reactor EFB sebesar 724 mg/L, dan 339 mg/L untuk sampel reactor EFB + Sponge. Seiring berjalannya penelitian dan pengujian, pada hari ke 20 didapatkan lah konsentrasi TSS sebesar 611 mg/L pada reactor kontrol, 255 mg/L untuk reactor EFB, dan 110 untuk reactor EFB + Sponge.

Pengalanaan data konsentrasi TSS didasari oleh SNI 06-6989.3-2004. Pada SNI 06-6989.3-2004 tersebut terdapat beberapa hal yang harus menjadi perhatian dalam pengujian TSS. Salah satunya ialah RPD (*Relative Percent Different*) yang mana merupakan dasar penentuan kelayakan hasil pengujian TSS. Pada SNI 06-6989.3-2004 nilai TSS didapatkan dengan cara pengujian sampel secara duplo yang kemudian nilai yang didapat dari kedua hasil tersebut akan ditentukan nilai RPD-nya dengan $RPD = \frac{(\square 1 - \square 2)}{(\square 1 + \square 2)/2} \times 100\%$. Disebutkan pula jika nilai RPD melebihi nilai 5% maka pengujian harus diulang karena dianggap tidak konsisten.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa penurunan nilai TSS pada reactor kontrol yang terjadi tidak konsisten. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya kenaikan kembali nilai TSS pada hari ke 3 dan hari ke 10. Kenaikan tersebut dapat disebabkan oleh kandungan sedimen yang terangkat dan terambil pada sampel yang akan diuji. Secara garis besar kandungan TSS pada reactor menurun dari 814 mg/L menjadi 610,5 mg/L. Penurunan tersebut terjadi murni karena hasil sedimentasi yang terjadi pada reactor.

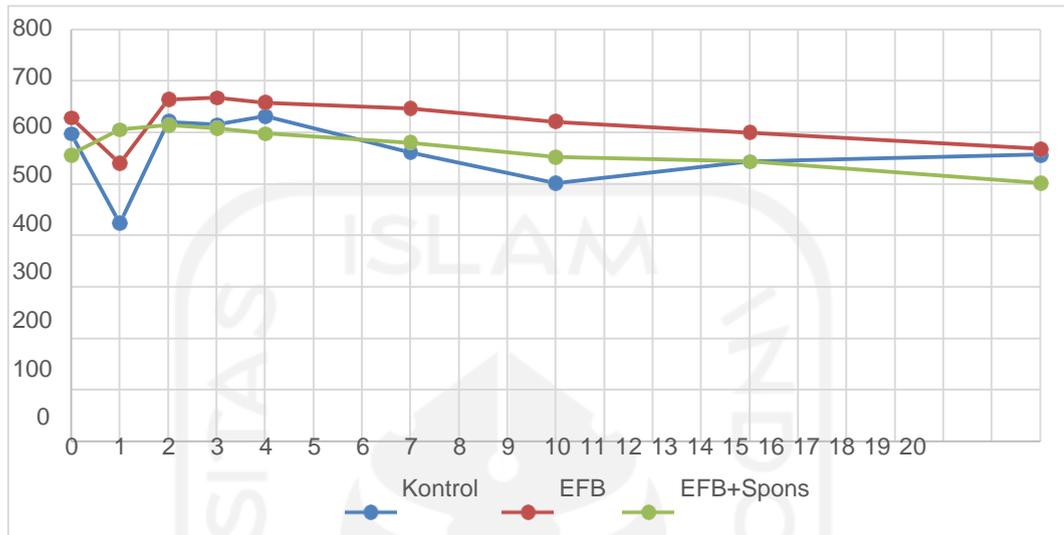
Untuk reaktor EFB, penurunan yang terjadi terbilang cukup besar yang mana berawal dari 724 mg/L yang pada hari ke 20 menurun menjadi 245,5 mg/L. Sama halnya dengan reaktor kontrol, masih terdapat ketidak konsistenan pada penurunan TSS pada reaktor EFB. Hal tersebut dapat dilihat pada hari ke 1 yang mana nilai TSS nya lebih rendah dibandingkan hari ke 2 dan 3. Pada hari ke 10 juga nilai TSS yang dihasilkan kembali naik dengan cukup drastis. Kedua kejadian tersebut dapat terjadi karena proses pengambilan sampel yang tidak cermat. Nilai RPD yang dihasilkan pun masih terdapat yang melebihi 5% yang disebabkan tidak meratanya sebaran partikel solid pada kedua sampel sama seperti yang terjadi pada reaktor kontrol. Penurunan nilai TSS pada reaktor EFB dapat dibilang lebih berhasil dibandingkan reaktor kontrol karena fitoremediasi yang terjadi membantu penurunan kadar partikel tersuspensi pada air limbah.

Nilai TSS pada reaktor EFB + Sponge ini memiliki grafik yang paling tidak konsisten terhadap penurunan yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada hari ke 2 dimana terjadi kenaikan pada nilai TSS yang dihasilkan setelah setelah pada hari ke 1 mulai menurun. Dari hari ke 2 hingga hari ke 7 sudah mulai menurun secara konsisten 386 mg/L menjadi 89,5 mg/L. Namun penaikan kembali terjadi pada hari ke 10 dan berangsur menurun pada hari ke 14 dan hari ke 20 dan didapatkan nilai akhir TSS sebesar 110 mg/L. Kenaikan nilai TSS yang terjadi dapat disebabkan karena adanya akar yang terlepas dari Eeng Gondok yang ikut tersaring pada sampel dan juga dapat disebabkan oleh banyaknya partikel Sponge yang terlepas lalu ikut tersaring. Selain itu, terdapat juga faktor pertumbuhan ganggang yang menghambat penurunan nilai TSS karena ganggang juga akan ikut tersaring pada saat pengambilan sampel dan penyaringan sampel.

Jika disimpulkan pada ketiga reaktor dalam mendegradasi TSS, akan terlihat jelas bahwasanya teknologi EFB sangat efektif dalam mendegradasi kandungan TSS. Hal tersebut terjadi karena adanya proses fitoremediasi oleh tanaman Eceng Gondok dimana padatan akan menempel dan terserap oleh akar tanaman. Ada pula peranan yang dilakukan oleh mikroorganisme baik yang ada pada akar tanaman maupun yang melekat pada spons poliuretan. Mikroorganisme tersebut akan menggunakan senyawa padat organik menjadi sumber energinya yang mengakibatkan penurunan padatan. TSS juga dapat memecah dengan sendirinya menjadi partikel yang lebih kecil yang kemudian terlarut yaitu TDS (Paramita dkk., 2012).

4.3.2 Analisis Hasil Pengujian TDS

Sama halnya dengan TSS, kandungan TDS yang tinggi pada air juga akan berdampak buruk bagi ekosistem air. Dimana kadar TDS dapat memberikan kontribusi pada penurunan kemampuan fotosintesis, gabungan dengan senyawa beracun dan logam berat, dan menyebabkan peningkatan suhu air. Hasil pengujian nilai TDS selama pengujian akan ditampilkan pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 17. Konsentrasi TDS selama masa penelitian tahap 1

Grafik diatas menjelaskan tentang nilai konsentrasi TDS pada ketiga reactor selama 20 hari dan dengan interval pengujian yang telah ditetapkan. Pengujian nilai TDS berbeda dengan pengujian TSS dimana tidak memerlukan analisis duplo terhadap sampel karena prinsip pengujiannya menggunakan TDS Meter. Nilai konsentrasi TDS awal pada ketiga reactor ialah 598 ppm pada reactor control, 629 ppm pada reactor EFB, dan 557 ppm pada reactor EFB + Sponge. Pada hari ke 20 penelitian nilai TDS pada ketiga reactor mengalami perubahan dimana reactor control menjadi 557 ppm, 568 ppm bagi reactor EFB, dan 502 ppm pada reactor EFB + Sponge.

Berbeda halnya dengan pengujian TSS, pengujian TDS tidak dilakukan dengan metode gravimetric walaupun bisa saja dilakukan dengan metode tersebut. Pengujian TDS dilakukan dengan prinsip potensiometer dimana menggunakan alat TDS Meter sebagai alat ukurnya. TDS Meter yang digunakan harus telah terkalibrasi agar hasil yang didapatkan dapat dikatakan layak. Selain itu, alat tersebut harus terus dibilas setelah dilakukanya pengukuran. Pada pengujian TDS terdapat kesalahan yang disebabkan oleh kekeliruan terhadap pengaplikasian prinsip petensiometer pada TDS Meter yang dibuktikan pada pengujian hari ke 1 dimana pada ketiga reactor terjadi penurunan TDS namun pada hari ke 2 kembali terjadi kenaikan yang selanjutnya pada hari 3 nilai TDS mulai menurun secara konsisten. Kejadian tersebut disebabkan oleh alat yang tidak terkalibrasi dengan baik.

Pada reactor kontrol dapat dilihat grafik nilai konsentrasi TDS selama kurun waktu 20 hari. Jika dilihat pada grafik tersebut nilai konsentrasi TDS terbilang tidak konsisten pada penurunannya. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai TDS yang melambung naik pada hari ke 2 menjadi 621 ppm dimana pada hari sebelumnya nilai TDS sudah menurun jauh menjadi 424 ppm. Nilai TDS pada

hari ke 2 hingga ke 4 cenderung stabil tanpa mengalami kenaikan atau penurunan yang drastis. Penurunan yang cukup jelas terjadi pada hari ke 7 dan 10 dimana pada hari ke 10 didapatkan nilai TDS sebesar 502 ppm. Namun, konsentrasi TDS kembali mengalami peningkatan pada hari ke 14 dan 20 dimana pada hari ke 20 didapatkan konsentrasi TDS sebesar 557 ppm. Peningkatan nilai TDS, dapat disebabkan karena adanya proses pemecahan bahan organik yang tadinya merupakan suspended solid menjadi berukuran lebih kecil. Pada reactor control, penurunan TDS yang terjadi dapat disebabkan oleh adanya pengendapan padatan oleh gaya gravitasi.

Untuk reactor EFB dapat dilihat bahwa nilai awal TDS pada reactor ini ialah 629 ppm yang mana pada hari ke 20 menurun menjadi 568 ppm. Walaupun secara grafik terjadi penurunan kadar TDS, selama masa penelitian juga ditemui data TDS yang tidak konsisten secara grafis. Hal tersebut dapat dijumpai pada nilai TDS hari pertama yang sudah lebih rendah dari pada hari ke 0, namun terjadi peningkatan pada hari ke 2 dengan kenaikan yang cukup tinggi. Dari hari ke dua hingga hari ke 20 nilai TDS yang dihasilkan secara konsisten menurun dengan nilai TDS akhir 568 ppm. Penurunan kadar TDS yang terjadi pada reactor EFB dipengaruhi oleh factor remediasi dimana Eceng Gondok yang digunakan dapat menyerap partikel solid yang terkandung dalam air limbah.

Pada reactor EFB + Spons memiliki kadar TDS awal sebesar 557 ppm dan pada hari ke 20 menurun menjadi 502 ppm. Sama halnya dengan kedua reactor sebelumnya dimana penurunan kadar TDS tidak langsung terjadi melainkan penurunan secara konsisten baru terjadi dimulai pada hari ke 3 hingga hari ke 20. Kenaikan kadar TDS juga terjadi pada reactor ini yaitu pada hari pertama dan kedua. Sama seperti yang terjadi pada reactor EFB, penurunan kadar TDS yang terjadi pada reactor EFB ini disebabkan oleh factor fitoremediasi dimana partikel solid yang terlarut pada air diserap oleh akar tanaman Eceng Gondok dan penurunan karena bahan organik tersebut digunakan mikroorganisme sebagai sumber energi.

Dapat disimpulkan bahwa ketiga reaktor mengalami penurunan kadar TDS. Penurunan tersebut jika diacu oleh beberapa teori disebabkan oleh sedimentasi, fitoremediasi, serta pertumbuhan mikroorganisme.

4.4 Hubungan Antara TSS dan TDS dengan Parameter Fisik Pendukung

Selama berlangsungnya penelitian dengan banyaknya pengujian yang dilakukan pada nilai konsentrasi TSS dan TDS, penelitian juga diperkuat dengan pengujian parameter fisik lain. Pengujian tersebut dilakukan demi menunjang validitas data yang dihasilkan agar serta membuat penelitian dapat memberikan informasi secara terperinci. Adapun parameter – parameter tersebut berupa suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, serta kondisi fisik tanaman.

4.4.1 Suhu

Menurut Pessaraki (2005), temperatur sejajar dengan evaporasi dan evapotranspirasi. Proses evaporasi dan evapotranspirasi menghasilkan panas, yang menaikkan suhu. Jika temperatur meningkat maka oksidasi akan meningkat (Mahida, 1986). Menurut Hindarko (2003), suhu 15 ° C-35 ° C merupakan suhu optimal bagi mikroorganisme. Pengujian suhu dilakukan sesuai dengan prinsip potensiometer, menggunakan alat yang sama dengan pengukur TDS yaitu TDS meter.

Tabel 12. Hasil pengukuran suhu

Suhu (°C)				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
12/10/2020	0	26	26,2	26,9
13/10/2020	1	27	26,6	26,9
14/10/2020	2	27,9	27,3	27,2
15/10/2020	3	27	27,2	27,3
16/10/2020	4	26,2	25,9	26,1
19/10/2020	7	27,2	27,53	27,3
22/10/2020	10	27,1	27,3	27,52
26/10/2020	14	27	26,8	26,7
02/11/2020	20	27,1	26,8	27

Jikadilihtdarihasilpenelitian,nilaisuhuairpadareactorcontrolberkisar antara 26 °C hingga 27 °C, 26,2 °C hingga 27,53 °C pada reactor EFB, 26,1 °C hingga 27,52 °C pada reactor EFB + Spons. Dari hasil tersebut dapatdisimpulkan bahwa kondisi air masih memadai untuk tempat tumbuh mikroorganismeyangmanadapat membantuprosesdegradasi senyawapolutan.

4.4.2 pH

Nilai pH atau keasaman menunjukkan keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen (H⁺) dalam larutan. Menurut Fardiaz (1992), pH air yang mengandung deterjen terlarut adalah 9-10,5 atau bersifat basa. Kisaran pH optimal untuk tanaman adalah 6,0 hingga 8,0 (Spellman, 2003). Sedangkan untuk proses degradasi senyawa organik menurut Effendi (2003) kisaran pH yang optimal adalah 7-8,5. Menurut Effendi (2003), peningkatan pH disebabkan oleh fotosintesis pada tumbuhan. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO₂ dan melepaskan ion OH ke dalam air. Menurut Gregory (2006), proses fotosintesis juga menyerap ion H⁺ yang ada di air. Proses penurunan pH dapat terjadi karena oksidasi ion H⁺ (Widowati, 2000) dan pembentukan sulfat (Suharjono dan Kurniati, 1994) yang disebabkan oleh pembusukan bagian tanaman. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat berupa pH meter elektronik.

Tabel 13. Hasil pengukuran pH

pH				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
12/10/2020	0	7,5	7,33	7,27
13/10/2020	1	7,67	7,66	7,6
14/10/2020	2	7,41	7,34	7,39
15/10/2020	3	7,53	7,49	7,56
16/10/2020	4	7,5	7,55	7,57
19/10/2020	7	7,49	7,53	7,56

22/10/2020	10	7,52	7,45	7,46
------------	----	------	------	------



26/10/2020	14	9,23	6,8	5,8
02/11/2020	20	8,6	6,9	6,1

Pada penelitian selama kurun waktu 20 hari, didapatkan nilai pH pada reactor control berkisar antara 7,41 hingga 9,23. Pada reactor EFB nilai pH yang didapatkan berkisar antara 6,8 hingga 7,66. Sedangkan pada reactor EFB + Spons didapatkan nilai pH dengan kisaran 5,8 hingga 7,56. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwasanya pada reactor EFB dan EFB + Spons kondisi pH – nya masih dapat dikatakan optimal baik bagi pertumbuhan tanaman maupun dalam kemampuannya dalam proses pendegradasian senyawa polutan. Lain halnya pada reactor control yang masih didapatkan nilai pH sebesar 9,23 yang mana dapat diartikan bahwa kandungan polutan pada air nya masih tinggi. pH juga berpengaruh terhadap kandungan TDS pada air limbah. Pada pH dengan nilai rendah maka ion-ion logam cenderung larut dalam air sehingga kadar TDS menjadi tinggi (Nurhayati et al. 2018)

4.4.3 Kekeruhan

Kualitas fisik air dapat dinilai dari kandungan padatan tersuspensi dan kekeruhannya yang dapat dilihat dari kejernihan air, warna air dan aroma air (Asmadi & Suharno, 2012). Salah satu penyebab kekeruhan badan air adalah air limbah rumah tangga, yang langsung dibuang ke badan air tanpa diolah, yang berakibat pada penurunan kualitas air. Tinggi rendahnya nilai kekeruhan pada badan air akan sejalan dengan nilai TSS dan TDS, karena senyawa TSS dan TDS menyebabkan kekeruhan pada air.

Tabel 14. Hasil pengukuran kekeruhan

Kekeruhan (NTU)				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
12/10/2020	0	2,32	3,58	3,11
13/10/2020	1	2,66	2,98	2,67
14/10/2020	2	2,78	2,49	0,41
15/10/2020	3	6,54	8,51	2,57
16/10/2020	4	8,7	0,96	0
19/10/2020	7	8,01	6,54	2,57
22/10/2020	10	22,25	3,72	2,09
26/10/2020	14	44,12	1,64	0,95
02/11/2020	20	24,6	1,6	1,2

Seperti yang telah dibahas pada sub – bab Analisis Hasil Pengujian TSS dan Analisa Hasil Pengujian TDS, nilai konsentrasi TSS serta TDS pada reactor EFB dan reactor EFB + Spons menurun selama masa pengujian 20 hari. Hal yang serupa juga terjadi pada nilai kekeruhan pada reactor EFB dan EFB + Spons. Nilai kekeruhan pada reactor EFB turun dari 3,58 NTU menjadi 1,6 NTU. Pada reactor EFB + Spons turun dari 3,11 NTU menjadi 1,2 NTU. Kondisi yang berbeda terjadi pada reactor control dimana seiring berjalanya waktu penelitian nilai kekeruhannya semakin bertambah dari yang awalnya 2,32 NTU menjadi 24,6 NTU. Kondisi tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya pertumbuhan ganggang

pada air limbah. Penurunan nilai kekeruhan tersebut disebabkan oleh kemampuan akar dari kedua tanaman tersebut yang menyerap bahan pencemar yang terdapat baik pada badan air maupun pada sedimen. Polutan tersebut diakumulasikan menjadi bahan terlarut ke bagian tanaman akumulator, sehingga padatan tersuspensi pada limbah berkurang (Santoso et al. 2014).

Sama seperti pengujian parameter lainnya yang menggunakan alat elektronik sebagai alat pengujian, pengukuran kekeruhan sangat bergantung pada kondisi alat ukur dimana alat ukur yang digunakan harus telah terkalibrasi secara baik agar nilai kekeruhan yang dihasilkan dapat dianggap valid. Pada pengujian kekeruhan tiap reactor masih terdapat beberapa hasil pengukuran yang nilai nya dapat dikatakan tidak valid karena nilai yang dihasilkan tidak selaras dengan 'tren' penurunan ataupun kenaikan yang terjadi.

4.4.4 Konduktivitas

Konduktivitas suatu larutan bergantung pada jenis dan konsentrasi ion didalam larutan. Semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL. Daya hantar listrik berhubungan dengan pergerakan suatu ion di dalam larutan ion yang mudah bergerak mempunyai daya hantar listrik yang besar. Daya hantar listrik merupakan kebalikan dari tahanan, sehingga daya hantar listrik mempunyai satuan ohm. Bila arus listrik dialirkan dalam suatu larutan mempunyai dua elektroda, maka daya hantar listrik berbanding lurus dengan luas permukaan elektroda dan berbanding terbalik dengan jarak kedua elektroda (Bassett, 1994).

Pengujian konduktivitas dapat menggunakan pengukur konduktivitas untuk mengukur nilai konduktivitas. Pengukur konduktivitas adalah alat yang digunakan untuk menentukan konduktivitas suatu larutan. Prinsip kerja dari pengukur konduktivitas adalah memberikan gaya pada elektroda untuk memindahkan ion-ion dalam larutan, dan ion-ion tersebut akan berpindah dari potensial tinggi ke potensial rendah. Pergerakan ion-ion tersebut akan menghasilkan arus listrik. Semakin banyak ion yang bergerak, semakin besar arusnya, dan oleh karena itu semakin besar nilai konduktivitas yang dibaca oleh pengukur konduktivitas.

Tabel 15. Hasil pengukuran konduktivitas

Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
12/10/2020	0	0,896	0,939	0,835
13/10/2020	1	0,612	0,937	0,909
14/10/2020	2	0,927	1,004	0,922
15/10/2020	3	1,001	0,925	0,915
16/10/2020	4	0,752	0,934	0,828
19/10/2020	7	0,925	1,001	0,915
22/10/2020	10	0,926	0,946	0,919
26/10/2020	14	0,972	0,956	0,933
02/11/2020	20	0,964	0,966	0,925

Seperti yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya bahwa konduktivitas memiliki hubungan dengan senyawa terlarut pada air yang mana

senyawa – senyawa tersebut dapat menunjang daya hantar listrik. Jika dikaitkan dengan hasil pengujian TSS dan TDS yang mana merupakan hasil dari partikel berbagai macam senyawa pada air, nilai konduktivitas yang didapat selama pengujian malah dapat terbilang tidak berjalan selaras. Hal tersebut didasari oleh pada pengujian TDS dan TSS ketiga reaktor memiliki ‘tren’ yang sama terhadap konsentrasinya yaitu mengalami penurunan walaupun penurunan yang terjadi tidak selalu konsisten. Berbeda halnya dengan apa yang terjadi pada pengujian konduktivitas dimana pada ketiga reaktor menunjukkan hasil yang sama terhadap ‘tren’ nya yang tidak stabil, dalam artian ‘tren’ data yang dihasilkan naik turun.

Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwasanya penurunan nilai TSS dan TDS tidak selamanya akan berpengaruh pada nilai konduktivitasnya. Penjelasan ialah walaupun senyawa – senyawa tertentu penghasil TSS dan TDS nya terdegradasi oleh sedimentasi, fitoremediasi, serta perkembangan mikroorganisme, masih terdapat senyawa – senyawa lain yang dapat mendukung daya hantar listrik yang tidak dapat terdegradasi. Senyawa tersebut dapat berbentuk asam, basa, garam, logam, dan lain – lain yang terlarut pada air.

4.4.5 Oksigen Terlarut

Oksigen memegang peran penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik, Karena proses ini maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami (Salmin, 2005).Wulandari et al (2012) mengatakan kadar oksigen terlarut akan meningkat dengan menggunakan tanaman air, karena oksigen tersebut didapat dari proses fotosintesis tanaman tersebut. Pada penelitian ini pengujian oksigen terlarut dilakukan menggunakan DO Meter. Berikut adalah hasil pengukuran oksigen terlarut dalam kurun waktu 20 hari.

Tabel 16. Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut

DO (mg/L)				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
12/10/2020	0	1,2	1,7	2,2
13/10/2020	1	2,8	2,9	2,5
14/10/2020	2	2,9	2,8	2,3
15/10/2020	3	2,7	2,4	2
16/10/2020	4	1	1,2	1,2
19/10/2020	7	2,4	2,7	2
22/10/2020	10	2	2,4	2,1
26/10/2020	14	1,6	2,2	2,2
02/11/2020	20	2,4	2,1	1,8

Jika dilihat dari tabel diatas, nilai konsentrasi oksigen terlarut dapat dikatakan tidak konsisten baik dalam kondisi naik atau turun. Nilai oksigen sejatinya akan sangat berpengaruh terhadap penyerapan polutan yang dilakukan oleh tanaman. Hal tersebut dikarenakan jika nilai oksigen terlarut nya semakin meningkat maka dapat diartikan akan semakin baik pula kondisi tanaman yang

digunakan. Kondisi tanaman yang baik akan berpengaruh terhadap proses fotosintesisnya yang baik pula dengan menghasilkan oksigen. Pada penelitian ini dapat diartikan bahwa kondisi Eceng Gondok pada reaktor EFB dan EFB + Spons fluktuatif dimana terkadang meningkat dan terkadang menurun.

4.4.6 Kondisi Fisik Tanaman

Seiring berjalanya penelitian, kondisi fisik dari Eceng Gondok juga diamati guna mengetahui apakah kondisi Eceng Gondok masih dapat dinilai optimal untuk tumbuh dan menyisihkan polutan pada air. Pengamatan juga dilakukan agar mengantisipasi kembali terjadinya kematian tanaman seperti yang sebelumnya terjadi pada tanaman Kangkung Air. Kondisi Eceng Gondok pada awal penelitian hingga masa aklimatisasi dapat dikatakan cukup baik dimana tidak adanya kondisi daun yang mengering, layu, atau bahkan mati.



Gambar 18. Kondisi Eceng Gondok setelah masa aklimatisasi
Sumber : (Dokumentasi, 2020)

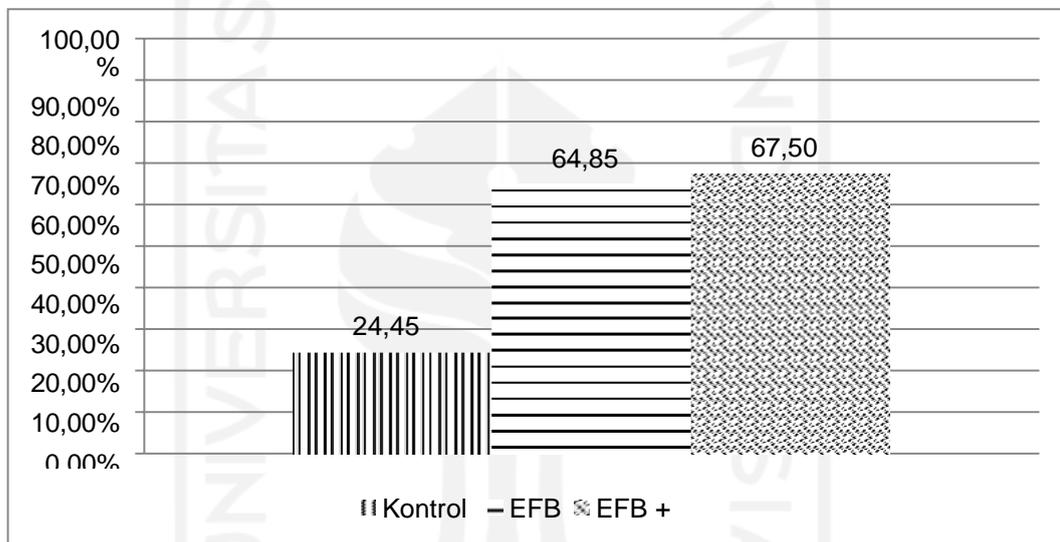


Gambar 19. Kondisi Eceng Gondok pada akhir tahap 1
Sumber : (Dokumentasi, 2020)

Pada Gambar 19 diatas dapat dilihat pada akhir periode pengujian tahap 1, kondisi Eceng Gondok sudah terlihat melayu bahkan ada beberapa batang yang mati yang kemudian membusuk. Pada kondisi ini dapat dinilai bahwa kondisi Eceng Gondok sudah tidak optimal yang dibuktikan dengan kemampuannya dalam mendegradasi partikel padatan teruspensi maupun terlarut sudah menurun. Dalam kondisi tersebut Eceng Gondok akan kembali dikontakan dengan limbah yang telah ditingkatkan konsentrasinya.

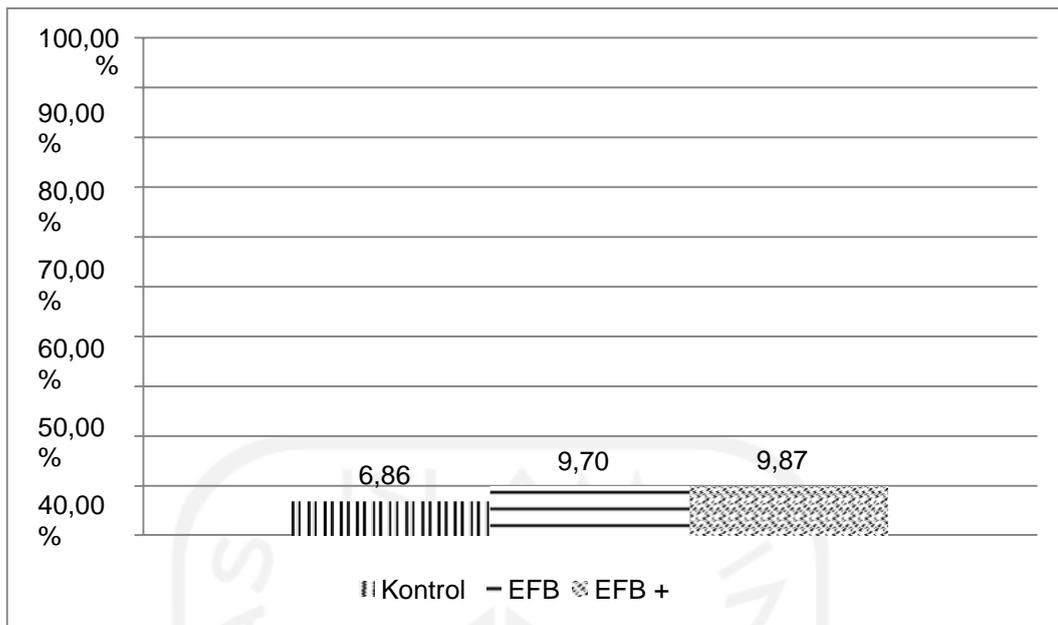
4.5 Efisiensi Penyisihan

Seperti yang telah dijelaskan pada BAB 1 dan BAB 2 laporan, diciptakannya 3 jenis reaktor yang berbeda tak lain bertujuan untuk mengetahui tingkat penyisihan yang paling optimal bagi polutan terutama TSS dan TDS. Dalam proses penyisihannya ketiga reaktor ini memiliki cara dan kemampuannya masing – masing. Reaktor kontrol hanya mengandalkan daya gravitasi dalam penyisihan TSS dan TDS yang menyebabkan terjadinya proses sedimentasi. Reaktor EFB mengandalkan kemampuan fitoremediasi dari tanaman Eceng Gondok. Dan reaktor EFB + Spons selain mengandalkan fitoremediasi dari tanaman Eceng Gondok, juga mengandalkan kemampuan mikroorganisme yang tumbuh pada tubuh spons poliuretan. Setelah dilakukan masa penelitian selama 20 hari didapatkan bahwasanya ketiga reaktor mampu mendegradasi kadar TSS dan TDS walaupun tingkat efisiensinya berbeda – beda. Dalam penyisihan kadar TSS, berikut adalah persentase perbandingan ketiga reaktor dalam mendegradasi TSS.



Gambar 20. Perbandingan Efisiensi Penyisihan TSS ketiga reaktor

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwasanya nilai penyisihan TSS yang paling tinggi ialah pada reaktor EFB + Spons dengan tingkat penyisihan sebesar 67,5%. Jika dibandingkan dengan reaktor EFB, nilai persentase penyisihannya tidak terpaut terlalu jauh dimana reaktor EFB memiliki tingkat penyisihan sebesar 64,85%. Keunggulan reaktor EFB + Spons ialah penggunaan penambahan media penyangga berupa spons poliuretan sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme. Spons poliuretan yang berbentuk kubus dapat mendistribusi air limbah yang masuk melewati lubang pori yang cukup homogen dan tersebar secara merata, dengan strukturnya yang berpori dan memiliki porositas yang tinggi hal ini dapat membantu dalam perkembangbiakan mikroorganisme dan bahan organik serta membantu menurunkan parameter COD dan TSS di air limbah (Nicholson, 1997). Perbandingan efisiensi penyisihan TDS akan ditunjukkan pada diagram berikut.



Gambar 21. Perbandingan Efisiensi Penyisihan TDS ketiga reaktor

Sama halnya dengan parameter TSS, kemampuan ketiga reaktor dalam menyisihkan polutan TDS juga berbeda – beda. Dapat dilihat pada diagram diatas bahwasanya nilai penyisihan yang paling tinggi ialah pada reaktor EFB + Spons dengan persentase penyisihan sebesar 9,87%. Walaupun tidak terpaut jauh dengan penyisihan yang dilakukan oleh reaktor EFB, terbukti bahwa dengan penambahan spons poliuretan sebagai tempat tumbuh dan berkembang mikroorganisme mampu meningkatkan kemampuan teknologi EFB dalam menyisihkan padatan terlarut. Jika dibandingkan dengan efisiensi penyisihan yang berhasil dilakukan terhadap kandungan TSS, dirasa bahwa penyisihan yang mampu dilakukan terhadap padatan terlarut tidak memuaskan. Hal tersebut didasari oleh dari ketiga reaktor tersebut hanya mampu melakukan efisiensi penyisihan dibawah 10%. Penurunan padatan terlarut dapat terhambat oleh proses pemecahan partikel padat tersuspensi yang terjadi yang mengakibatkan pecahan tersebut menjadi padatan lebih kecil yang kemudian terlarut. Selain itu proses penggunaan padatan terlarut oleh mikroorganisme sebagai bahan energi yang belum sempurna juga dapat menyebabkan kembali bertambahnya partikel padatan terlarut. Proses penyisihan TDS alamiah menggunakan tanaman tidak akan mampu menciptakan penyisihan yang mencolok. Penyisihan TDS secara optimal dapat terjadi dengan konsentrasi TDS yang tinggi (Pophali et al., 2003).

4.6 Efek Beban Pengolahan

Seperti apa yang telah dijelaskan pada pembahasan operasional penelitian, penambahan beban pengolahan dilakukan dengan alasan kinerja reaktor EFB dan reaktor EFB + Spons belum dapat menunjukkan hasil yang optimal. Penambahan beban pengolahan ini juga dapat menunjukkan kondisi air limbah yang paling optimal jika akan menggunakan EFB sebagai teknologi pendegredasinya.

4.6.1 Konsentrasi Beban Pengolahan yang Lebih Tinggi

Prosesi penambahan beban pengolahan diawali dengan kembali membuat komposisi tambahan terhadap air limbah agar kandungan senyawa pencemarnya meningkat. Berikut ialah komposisi yang ditambahkan terhadap air limbah.

Tabel 17. Komposisi penambahan bahan pencemar

No	Komposisi	Larutan	Jumlah	Satuan
1	0,722 gr KNO_3 + 2 ml CHCl_3 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrat 100 mg/l	1,5	Liter
2	1,232 gr NaNO_2 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrit 250 mg/l	1,5	Liter
3	3,819 gr NH_4Cl + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Amonia 1000 mg/l	0,35	Liter
4	2,195 gr KH_2PO_4 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Pospat 500 mg/l	0,15	Liter
5	30 gr $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ + 1000 ml Akuades	Air Gula 0,16 M	1	Liter
6		Detergen	15	Gram
7		Pupuk NPK	0,3	liter

Dengan dilakukannya penambahan bahan – bahan diatas terhadap limbah yang digunakan, konsentrasi air limbah yang digunakan berubah menjadi berikut.

Tabel 18. Konsentrasi air limbah setelah penambahan beban pencemar

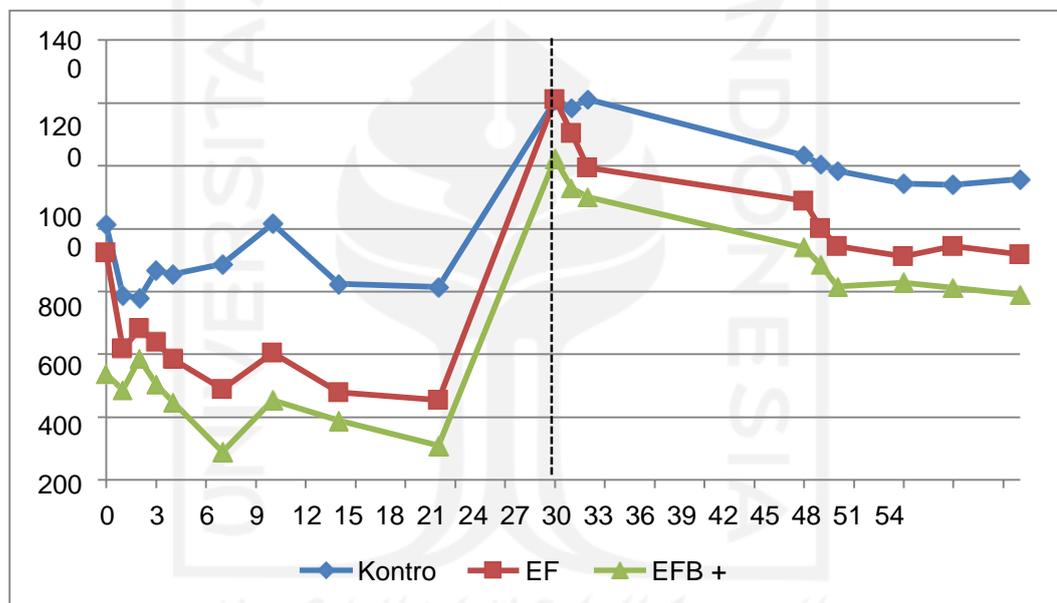
Nomor	Parameter	Reaktor		
		Kontrol	EFB	EFB + Spons
1	TSS	1207 mg/L	1212,5 mg/L	1023,5 mg/L
2	TDS	1172 ppm	1280 ppm	1050 ppm
3	pH	7,29	5,75	5,4
4	Suhu	27,6 C	27,5 C	27,6 C
5	Kekeruhan	64 NTU	38,7 NTU	18,95 NTU
6	Konduktivitas	1,755 $\mu\text{s}/\text{cm}$	1,918 $\mu\text{s}/\text{cm}$	1,755 $\mu\text{s}/\text{cm}$
7	Oksigen Terlarut	1,9 mg/L	2,2 mg/L	2,4 mg/L

Jika dilihat pada tabel diatas khususnya pada parameter TSS dan TDS, hasil yang didapatkan sudah jauh meningkat dari konsentrasi awal penelitian dimana untuk reaktor kontrol TSS nya 814 mg/L dan TDS nya 598 ppm, reaktor EFB TSS nya 724 mg/L dan TDS nya 629 ppm, dan reaktor EFB + Spons TSS nya 338,5 mg/L dan TDS nya 557 ppm.

4.6.2 Perbandingan Penyisihan TSS dan TDS Terhadap Beban Pengolahan Sebelumnya

4.6.2.1 Perbandingan Penyisihan TSS

Pengujian terhadap kandungan TSS pada tahap kedua sama persis dengan pengujian yang telah dilakukan terhadap penelitian tahap 1. Dari pengujian tersebut didapatkanlah grafik nilai TSS yang akan langsung dibandingkan dengan hasil yang didapatkan pada penelitian tahap 1. Perbandingan grafik kedua tahap tersebut dalam penyisihan TSS ditampilkan pada Gambar 20 berikut.



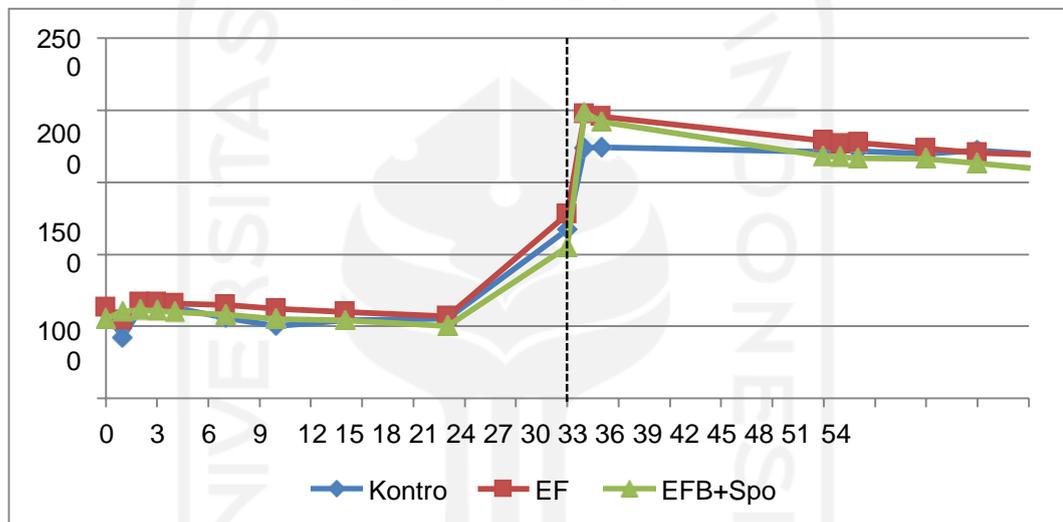
Gambar 22. Perbandingan nilai konsentrasi TSS antara penelitian tahap 1 dan tahap 2.

Jika dilihat pada tabel tersebut, masing – masing reaktor pada tahap 2 mampu menurunkan kandungan TSS pada air limbah. Reaktor kontrol menurunkan TSS dari yang awalnya 1207 mg/L menjadi 958,5 mg/L, reaktor EFB menurunkan dari yang awalnya 1212,5 mg/L menjadi 718,5 mg/L, dan pada reaktor EFB+Spons penurunan yang terjadi diawali dari 1023,5 mg/L hingga 590 mg/L. Jika dibandingkan dengan grafik penurunan pada tahap 1, penurunan nilai TSS tahap 2 dapat dinilai lebih konsisten dimana grafik penurunannya tidak banyak mengalami banyak lonjakan nilai TSS seperti yang terjadi pada tahap 1. Pada saat proses penganalisaan sampel pun nilai RPD yang didapatkan dapat dibilang tidak ‘seburuk’ dengan apa yang terjadi pada tahap 1 walaupun tetap masih ada nilai RPD yang melebihi 5%. Hal tersebut terjadi karena telah dilakukan evaluasi terhadap tata cara pengujian dan pengambilan sampel uji agar nilai TSS yang didapatkan dapat dikatakan layak.

Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan penyisihan TSS pada tahapan pertama, penyisihan yang terjadi pada kedua pun tetap disebabkan oleh sebab yang sama. Penyebab terdegradasinya padatan tersuspensi tersebut meliputi proses fitoremediasi yang dilakukan Eceng Gondok dimana padatan tersebut akan menempel dan terserap oleh akar tanaman, proses sedimentasi padatan akibat gaya gravitasi, penyerapan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi, dan pemecahan padatan tersuspensi menjadi partikel yang lebih kecil lalu terlarut dalam air.

4.6.2.2 Perbandingan Penyisihan TDS

Sama halnya dengan yang dilakukan terhadap pengujian TSS tahap 2, pengujian TDS tahap 2 pun masih menggunakan tata cara pengujian yang sama dengan yang telah dilakukan pada pengujian TDS tahap 1. Berikut adalah grafik nilai TDS pada air limbah dengan konsentrasi yang lebih tinggi.



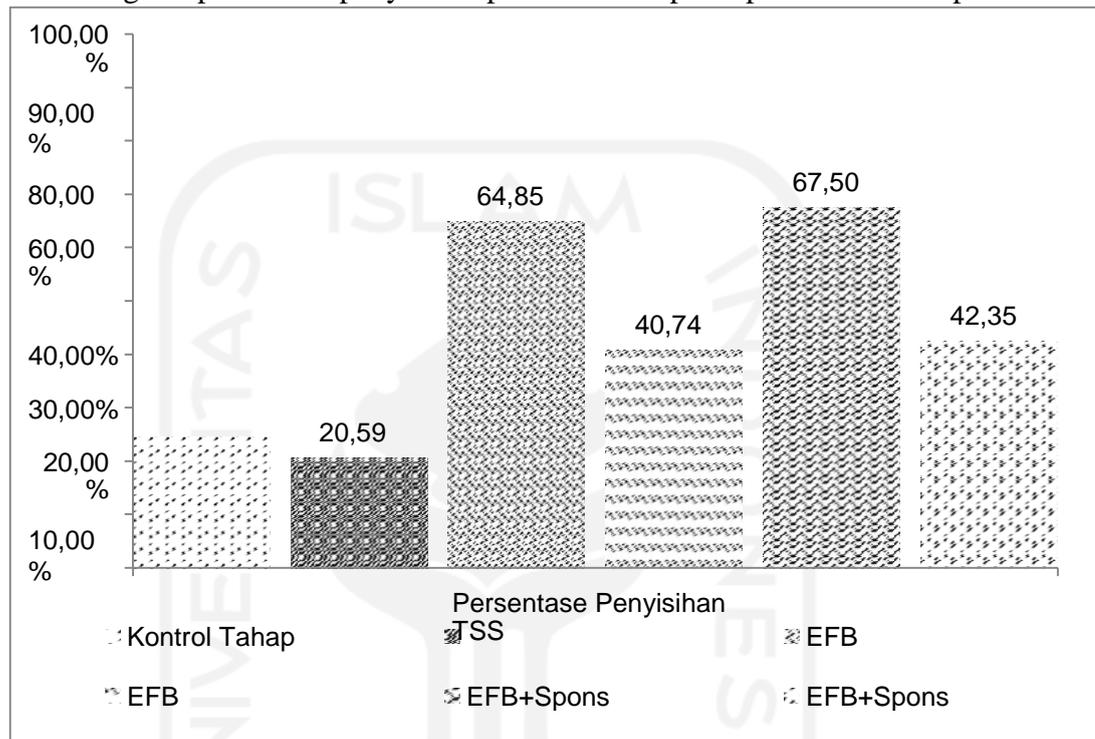
Gambar 23. Perbandingan nilai konsentrasi TDS antara penelitian tahap 1 dan tahap 2.

Jika dilihat pada grafik diatas, terjadi kenaikan nilai TDS pada ketiga reaktor pada hari ke 28 dimana pada hari ke 27 telah didapatkan nilai TDS awal. Setelah hari ke 28 barulah nilai TDS berangsur – angsur menurun secara konsisten. Namun penurunan yang terjadi hingga hari ke 55 tidak ada yang mencapai nilai TDS pada hari ke 27. Oleh sebab itu nilai TDS pada hari ke 27 dianggap nilai kesalahan karena perbedaannya yang terlalu jauh dengan nilai TDS pada hari – hari selanjutnya. Kesalahan tersebut dianggap terjadi akibat kesalahan saat pengambilan sampel dimana dapat berupa alat yang tidak terkalibrasi secara baik. Dikarenakan kesalahan yang terjadi pada hari ke 27, nilai awal yang digunakan sebagai nilai awal TDS ialah pada hari 28 sebesar 1739 ppm untuk reaktor kontrol, 1973 ppm untuk reaktor EFB, dan 1988 ppm untuk reaktor EFB + Spons. Dari nilai awal tersebut, dalam kurun waktu 28 hari ketiga reaktor mampu menurunkan kadar padatan terlarut yang mana pada reaktor kontrol mampu menurunkan hingga menjadi 1688 ppm, 1692 ppm bagi reaktor EFB, dan reaktor EFB + Spons menurun menjadi 1587 ppm.

Penyebab penurunan tersebut ialah proses sedimentasi, fitoremediasi oleh Eceng Gondok, dan penyerapan oleh mikroorganisme pada akar Eceng Gondok maupun pada spons poliuretan.

4.6.2.3 Perbandingan Efisiensi Penyisihan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana dilakukannya penambahan beban pengolahan terhadap reaktor dilakukan untuk mengetahui kemampuan optimal reaktor dalam melakukan penyisihan terhadap polutan padatan terlarut maupun tersuspensi. Setelah diketahui kemampuan reaktor dalam menyisihkan polutan pada tahap ke dua, dilakukanlah perbandingan dengan kemampuan reaktor dalam menyisihkan polutan pada tahap pertama. Berikut adalah diagram persentase penyisihan padatan tersuspensi pada kedua tahap.



Gambar 24. Diagram perbandingan persentase efisiensi penyisihan TSS tahap 1 dan tahap 2

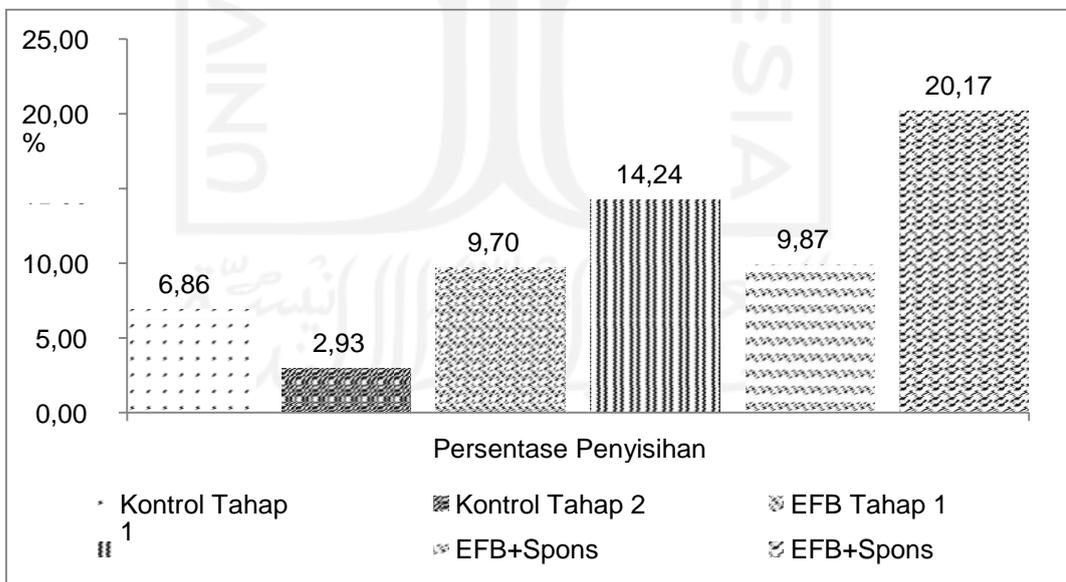
Jika dilihat pada diagram diatas, persentase efisiensi penyisihan padatan tersuspensi pada tahapan kedua di ketiga reaktor menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi reaktor sudah tidak se - optimal kondisinya pada penelitian tahap 1. Penurunan performa reaktor dalam penyisihan TSS dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti tipe reaktor batch, pertumbuhan ganggang, dan faktor kondisi tanaman.

Reaktor tipe batch akan berpengaruh terhadap performa fitoremediasi dimana ketersediaan bahan organik bagi pertumbuhan tanaman terbatas bagi proses pertumbuhannya. Disisi lain kandungan polutan yang semakin tinggi tidak bisa terserap secara optimal oleh Eceng Gondok yang menyebabkan pengakumulasiannya dalam reaktor menyebabkan kondisi air limbah yang semakin toksik bagi Eceng Gondok. Kondisi tanaman Eceng Gondok juga telah memasuki fase generatif yang menyebabkan daya serapnya terhadap senyawa polutan menurun. Semakin banyak tanaman dalam suatu area maka kebutuhan air juga akan meningkat dan evapotranspirasi berlangsung sangat cepat (Suharto et al.

2011). Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban juga berpengaruh pada proses evaporasi air limbah. Kandungan bahan organik yang diserap oleh tanaman akan diubah menjadi senyawa volatil dan kemudian ditranspirasi. Jika kandungan bahan organik pada air limbah sudah habis maka tanaman air tidak mendapatkan nutrisi untuk pertumbuhannya. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman menjadi layu dan mati. Kondisi ini dibuktikan dengan adanya beberapa batang Eceng Gondok yang mulai layu dan mengering.

Pertumbuhan Eceng Gondok yang tidak dalam kondisi yang sehat akan berpengaruh terhadap kemampuannya untuk mendegradasi padatan tersuspensi. Akar tanaman yang mana sejatinya akan berperan penting sebagai penyerap partikel padatan menjadi tidak optimal karena Eceng Gondoknya sendiri tidak dapat memenuhi nutrisinya akan unsur hara. Terhambatnya proses penyisihan padatan tersuspensi dapat juga disebabkan oleh adanya *alga blooming*. Tingginya pertumbuhan ganggang ditandai dengan semakin pekatnya kekeruhan warna hijau pada badan air. Jumlah ganggang yang tinggi akan mengakibatkan partikel padatan yang seharusnya dapat diserap oleh akar akan tergantung menjadi ganggang yang menempel pada akar yang mengakibatkan padatan nya tertap berterbangan pada air limbah. Ganggang yang ada pada air juga dapat terangkat pada pengambilan sampel dan akan terbaca sebagai padatan tersuspensi saat pengujian kadar TSS karena ganggang akan tersaring pada kertas saring.

Pada penyisihan padatan terlarut, hasil yang berbeda ditampilkan dimana nilai efisiensi penyisihannya bertambah dari sebelumnya khususnya pada reaktor EFB dan EFB + Spons. Peningkatannya dapat dilihat pada diagram sebagai berikut.



Gambar 25. Diagram perbandingan persentase efisiensi penyisihan TDS tahap 1 dan tahap 2

Jika pada tahapan 1 efisiensi dinilai tidak optimal dalam penyisihan padatan terlarut, pada tahap kedua ini malah membuahkan hasil yang lebih baik dari tahap pertama. Terlihat pada reaktor EFB dimana efisiensi yang dihasilkan sebesar 14,24% dimana sebelumnya sebesar 9,7%. Kejadian yang serupa juga terjadi pada reaktor EFB + Spons dimana efisiensi penyisihannya meningkat

menjadi 20,17% dari yang sebelumnya sebesar 9,87%. Sedangkan pada reaktor kontrol efisiensi penyisihannya semakin menurun dari yang sebelumnya 6,86% menjadi 2,93%.

Jika ditelaah penurunan efisiensi yang terjadi pada reaktor kontrol, penurunan terjadi akibat mikroba alamiah pada air sudah tidak dapat mengolah senyawa padatan terlarut dengan optimal. Penurunan padatan terlarut dapat terhambat oleh proses pemecahan partikel padat tersuspensi yang terjadi yang mengakibatkan pecahan tersebut menjadi padatan lebih kecil yang kemudian terlarut. Selain itu proses penggunaan padatan terlarut oleh mikroorganisme sebagai bahan energi yang belum sempurna juga dapat menyebabkan kembali bertambahnya partikel padatan terlarut. Lain halnya dengan yang terjadi pada reaktor EFB dan EFB + Spons dimana efisiensinya mengalami peningkatan. Hal tersebut dapat saja terjadi merujuk pada teori bahwa proses penyisihan TDS alamiah menggunakan tanaman tidak akan mampu menciptakan penyisihan yang mencolok. Namun, penyisihan TDS secara optimal dapat terjadi dengan konsentrasi TDS yang tinggi (Pophali et al., 2003).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dijalankan dengan interval waktu, durasi, dan tahapan yang telah dirancang, didapatkan bahwa Reaktor EFB + Spons merupakan reaktor yang paling efisien dalam menyisihkan kandungan TSS dan TDS. Penyisihan TSS pada tahap pertama dilakukan sebesar 67,5% dan pada tahap kedua sebesar 42,35%. Sedangkan untuk penyisihan TDS, Reaktor EFB + Spons mampu menyisihkan sebesar 9,87% pada tahap pertama dan 20,7% pada tahap kedua.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait penelitian ini adalah

1. Perlu pengkajian lebih lanjut terkait tipe reaktor yang akan digunakan meliputi apakah reaktor bertipe batch atau kontinu.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi media penyangga pada reaktor *ecological floating bed*, sehingga dapat didapatkan media yang paling efektif untuk menyisihkan polutan.
3. Pengaplikasian Reaktor EFB + Spons perlu memperhatikan lokasi yang tepat. Pertimbangkan faktor – faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan oleh reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, S., Almuktar, S. & Scholz, M., 2017. Remediation of synthetic greywater in mesocosm-scale floating treatment wetlands. *Ecological Engineering*, Volume 102, pp. 303-319.
- Ajayi, T. & Ogunbayo, A., 2012. Achieving environmental sustainability in wastewater treatment by phytoremediation with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Sustainable Development*, 5(7), pp. 80-90.
- Andika, 2013. Pemanfaatan arang enceng gondok dalam menurunkan kekeruhan. *Jurnal Kesehatan*, pp. ISSN No 2253-6951.
- Asmadi dan Suharno. 2012. Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah. Gosyen Publishing. Yogyakarta
- Basset J. dan Mendham, 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: Buku kedokteran EGC
- Benvenuti, T. et al., 2018. Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: a real-scale study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 6, pp. 5706-5711.
- Castro-Castellon, A., Chipps, M., Hankins, N. & Hughes, J., 2016. Lessons from the 'living-filter' : an in-reservoir floating treatment wetland for phytoplankton reduction prior to a water treatment works intake. *Ecological Engineering*, Volume 95, pp. 839-851.
- Chang, N. et al., 2013. Exploring hydrobiogeochemical processes of floating treatment wetlands in a subtropical stormwater wet detention pond. *Ecological Engineering*, Volume 54, pp. 66-76.
- Chen, J., Meng, S., Hu, H. & al, e., 2010. Effect of *Ipomoea aquatica* cultivation on artificial floating rafts on water quality of intensive aquaculture ponds. *Ecology and Environment in the Countryside*, 26(2), pp. 155-159.
- Chen, Z. et al., 2012. Comparative evaluation of pilot scale horizontal subsurface-flow constructed wetlands and plant root mats for treating groundwater contaminants with benzene and MTBE. *Journal of Hazard Mater*, pp. 510-515.
- Dewi, Y. S., 2012. Efektifitas jumlah rumpun tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) dalam pengendalian limbah cair domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 13(2), pp. 151-158.
- Dhir, B., 2013. Phytoremediation: role of aquatic plants in environmental clean-up. *Springer India, New Delhi*, pp. 1-20.
- Effendi, H., 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius
- Fardiaz, S., 1992. *Polusi air & udara*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius

Ge, Y., Chang, J., Wang, X. & al, e., 2000. Relationship between the physiological characters and purification ability of different plants in waters with two trophic levels. *Acta Ecological Sinica*, 20(6), pp. 1050-1055.

Gregory, P., 2006. *Plant Roots, Growth, Activity and Interaction with Soils*. Australia: Black Well.

Headley, T. & Tanner, C., 2012. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volume 42, pp. 2261-2310.

Henderson, 2010. *Pengertian Aklimasi, Adaptasi, dan Aklimatisasi*. [Online] Available at: <http://hansa07.student.ipb.ac.id/2010/06/20/pengertian-aklimasi-adaptasi%20aklimatisasi/>

Hindarko, S., 2003. *Mengolah air limbah*. Jakarta: Esha Seri Lingkungan Hidup.

Ikbal & Setiyono, 2004. Limbah cair, permasalahan, dan teknologi pengolahannya. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3), pp. 47-56.

J.F.Zhen, G.Y.Luo, X.Y.Xu & al, e., 2008. Purification of heavily polluted river water by ecological floating bed at low temperatures. *China Water & Wastewater*, 24(21), pp. 17-20.

KEMENKES, 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*. s.l.:s.n.

KEMEN-LHK, 2016. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*. s.l.:s.n.

Kementrian, R., 2011. *Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. Jakarta: Kemenkes RI.

Mahida, U.N., 1986. *Pencemaran air dan pemanfaatan limbah industri*. Jakarta: CV Rajawali

Mao, X. & Zhou, J., 2011. Research on water quality purification capacity of several species of aquatic plants commonly used by ecological floating bed. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, Volume 1, pp. 157-159.

Mariato, L. A., 2001. *Tanaman Air*. s.l.:Agromedia Pustaka.

Maulidiya, I., 2018. Produktivitas kangkung air (*ipomoea aquatica*) dari sumber nutrien air limbah tahu. *Skripsi*, Januari.

Nakamura, K. & Shimatani, Y., 1997. *Water purification and environmental enchancement by the floating wetland*. Korea, s.n.

Nicholson, J. W., 1997. *Polyurethanes dalam Polymer Synthesis*. New York: Academic press

Nurhayati, et. al., 2018. Pengaruh Steam Blanching terhadap Aktivitas Polifenol Oksidase, Total Polifenol, dan Aktivitas Antioksidan Biji Kakao. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 7(3), pp. 95-103

Permana, S., Triyati, E. & Nontji, A., 1994. *Pengamatan Klorofil dan Seston di Perairan Selat Malaka 1978-1980: Evaluasi Kondisi Perairan Selat Malaka 1978-1980*. s.l.:s.n.

Pessarakli, M., 2005. *Handbook of Photosynthesis Second Edition*. LLC: Taylor & Francis Group.

Pophali G.R, Kaul S.N, Mathur S., 2003. Influence of hydraulic shock loads and TDS on the performance of large-scale CETPs treating textile effluents in India. *Water Research*,37(2), pp. 353–361

Rukmi, D., 2014. *Efektifitas eceng gondok (eichhornia crassipes) dalam menurunkan kadar detergen, BOD, dan COD pada air limbah laundry (studi di laundry X di Kelurahan Jember Lor Kecamatan Patrang Kabupaten Jember)*. s.l., Universitas Jember.

Salmin, 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, 30(3), pp. 1-6.

Santoso, Herry et.al., 2014. Effects of Temperature, Pressure, Preheating Time and Pressing Time on Rubber Seed Oil Extraction Using Hydraulic Press. *Procedia Chemistry*, 9, pp. 248-256

Setyanto, K. & Warniningsih, 2011. Pemanfaatan eceng gondok untuk membersihkan kualitas air sungai Sungai Gadjahwong Yogyakarta. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 4(1), pp. 17-22.

SNI, 2004. Standar Nasional Indonesia (SNI). *Air dan limbah-bagian 3: cara uji padatan tersuspensi total (total suspended solid, TSS) secara gravimetri*, 30 Januari.

Soemirat, J., 2004. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Spellman, F. R., 2003. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Florida: A CRC Press Company

Sudaryati, N., Kasa, I. & Suyasa, I., 2008. Pemanfaatan sedimen perairan tercemar sebagai bahan lumpur aktif dalam pengolahan limbah cair industri tahu. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science*, 3(1), pp. 21-29.

Sugiharto, 2008. *Dasar-dasar pengelolaan air limbah*. Jakarta: UI Press.

Suharjono, N.H dan T.H. Kurniati., 1994. Potensi komunitas bakteri pemecah detergen jenis alkil benzen sulfonat (ABS) dan linier alkil benzen sulfonat (LAS). *Jurnal Universitas Brawijaya*, 6(2), pp. 100-108.

Suharto, 2011. *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Yogyakarta: Andi.

Supradata, 2005. Penggunaan limbah domestik menggunakan tanaman hias cyperus alternifolius, l dalam sistem lahan basah buatan aliran bawah permukaan (SSF-Wetlands). *Tesis*.

Suriawiria, U., 2008. *Mikrobiologi air*. Bandung: PT. Alumni.

Tadunkar, M. et al., n.d. Low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the "fourth-generation" downflow hanging sponge reactors. *Departement of Enviromental System Engineering, Nagaoka University of Technology*, pp. 940-2188.

Tanner, C. & Headley, T., 2011. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecological Engineering*, Volume 37, pp. 474-486.

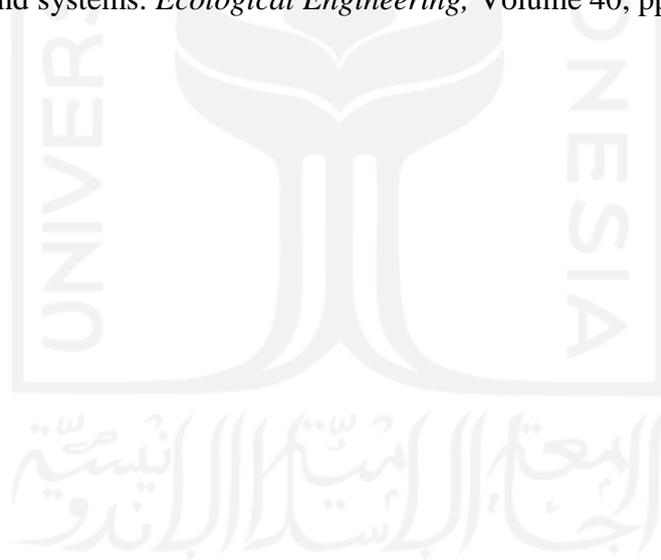
US-EPA, 2000. National Water Quality Inventory. *2000 Report*.

Wu, L., Cong, H., Wang, X. & al, e., 2010. Effect of three kinds of floating-bed plants and artificial plants on nitrogen and phosphorus removal in water. *Environmental Technology*, 23(3), pp. 12-16.

Xu, G., 2010. Study on purified efficiency of phosphorus and nitrogen from eutrophicated landscape water by four floating ornamental plants. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(7), pp. 299-302.

Yusuf, G., 2001. Proses bioremediasi limbah rumah tangga dalam skala kecil dengan kemampuan tanaman air pada sistem simulasi. *Tesis*.

Zhao, F. et al., 2012. Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecological Engineering*, Volume 40, pp. 53-60.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Parameter TSS

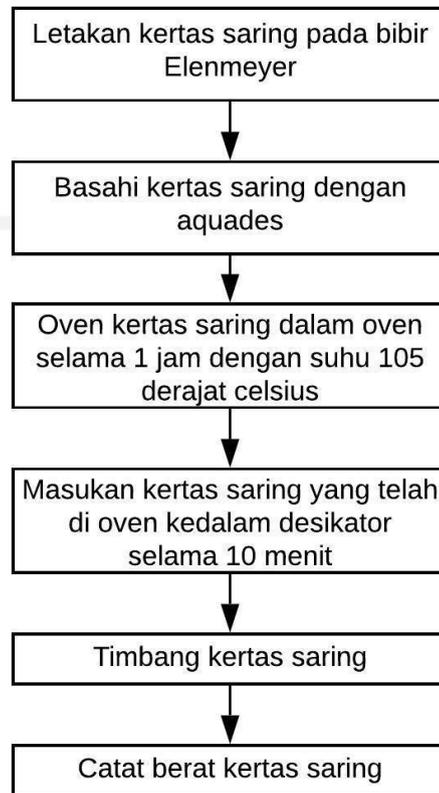
Nilai Konsentrasi TSS							
Nomor	Hari Ke	Tanggal	Reaktor	Nilai TSS (mg/L)			Nilai RPD (%)
				Sampel 1	Sampel 2	Rerata nilai TSS	
1	0	12-Oct	Kontrol	755	873	814	14,5
			EFB	800	648	724	21,0
			EFB + Sponge	295	382	338,5	25,7
2	1	13-Oct	Kontrol	500	677	588,5	30,1
			EFB	510	326	418	44,0
			EFB + Sponge	225	347	286	42,7
3	2	14-Oct	Kontrol	561	598	579,5	6,4
			EFB	459	502	480,5	8,9
			EFB + Sponge	411	361	386	13,0
4	3	15-Oct	Kontrol	622	713	667,5	13,6
			EFB	344	531	437,5	42,7
			EFB + Sponge	270	341	305,5	23,2
5	4	16-Oct	Kontrol	678	632	655	7,0
			EFB	371	400	385,5	7,5
			EFB + Sponge	237	258	247,5	8,5
6	7	19-Oct	Kontrol	700	674	687	3,8
			EFB	310	270	290	13,8
			EFB + Sponge	94	85	89,5	10,1
7	10	22-Oct	Kontrol	840	792	816	5,9
			EFB	429	382	405,5	11,6
			EFB + Sponge	260	250	255	3,9
8	14	26-Oct	Kontrol	645	605	625	6,4
			EFB	260	296	278	12,9

			EFB + Sponge	210	170	190	21,1
9	20	02-Nov	Kontrol	587	634	610,5	7,7
			EFB	241	268	254,5	10,6
			EFB + Sponge	85	135	110	45,5
10	27	09-Nov	Kontrol	1173	1241	1207	5,633802817
			EFB	1147	1278	1212,5	10,8
			EFB + Sponge	971	1076	1023,5	10,3
11	28	10-Nov	Kontrol	1152	1220	1186	5,7
			EFB	1072	1136	1104	5,8
			EFB + Sponge	887	972	929,5	9,1
12	29	11-Nov	Kontrol	1246	1176	1211	5,8
			EFB	1011	979	995	3,2
			EFB + Sponge	936	864	900	8,0
13	42	24-Nov	Kontrol	1008	1056	1032	4,7
			EFB	912	864	888	5,4
			EFB + Sponge	719	763	741	5,9
14	43	25-Nov	Kontrol	998	1012	1005	1,4
			EFB	841	761	801	10,0
			EFB + Sponge	663	708	685,5	6,6
15	44	26-Nov	Kontrol	1002	964	983	3,9
			EFB	769	721	745	6,4
			EFB + Sponge	653	579	616	12,0
16	48	30-Nov	Kontrol	961	924	942,5	3,9
			EFB	688	735	711,5	6,6
			EFB + Sponge	607	651	629	7,0
17	51	03-Dec	Kontrol	976	904	940	7,7
			EFB	722	765	743,5	5,8
			EFB + Sponge	553	671	612	19,3
18	55	07-Dec	Kontrol	986	931	958,5	5,7
			EFB	674	763	718,5	12,4
			EFB + Sponge	609	571	590	6,4

Lampiran 2. Hasil Pengujian Parameter TDS

Nilai Konsentrasi TDS					
NOMOR	TANGGAL	Hari Ke	KONTROL	EFB	EFB + SPONGE
1	12-Oct	0	598	629	557
2	13-Oct	1	424	540	605
3	14-Oct	2	621	664	614
4	15-Oct	3	615	667	608
5	16-Oct	4	631	658	598
6	19-Oct	7	561	647	580
7	22-Oct	10	502	621	552
8	26-Oct	14	543	600	543
9	02-Nov	20	557	568	502
10	09-Nov	27	1172	1280	1050
11	10-Nov	28	1739	1973	1988
12	11-Nov	29	1742	1954	1921
13	24-Nov	42	1713	1786	1680
14	25-Nov	43	1724	1764	1678
15	26-Nov	44	1718	1773	1670
16	30-Nov	48	1701	1734	1665
17	03-Dec	51	1721	1703	1632
18	07-Dec	55	1688	1692	1587

Lampiran 3. Tahap penimbangan kertas saring *Whatman*
(Pengujian TSS)



Lampiran 4. Tahap penimbangan dan penyaringan TSS

